Hirosaki University Repository for Academic Resources

Title	知識創造を伴う科学コミュニケーション活動の導入と展開 ： 教育と産業の相互接続性を意識した地域力向上への取り組み
Author(s)	本間，正範
Citation	
Issue Date	2014-03-20
URL	http://hdl.handle.net/10129/5294
Rights	
Text version	author

http://repository.ul.hirosaki-u.ac.jp/dspace/

国立大学法人 弘前大学
教育学研究科 平成 25 年度修士論文

知識創造を伴う
科学コミュニケーション活動の
導入と展開

― 教育と産業の相互接続性を意識した地域力向上への取り組み ―

本間 正範 *HOMMA, Masanori*

12GP212 教科教育専攻 理科教育専修

知識創造を伴う
科学コミュニケーション活動の
導入と展開

― 教育と産業の相互接続性を意識した地域力向上への取り組み ―

本間 正範 *HOMMA, Masanori*

2014 年 3 月

国立大学法人弘前大学 教育学研究科 修士論文

Master's Thesis　– Graduate School of Education, Hirosaki University

The Role of Education in Societies and Industries Seeking Knowledge-Creation

— Development of Pedagogy with Science Communication Enhanced by 21st Century Challenges

[キーワード]

科学実験，価値創生，教育と産業，教科横断（クロスカリキュラム），

自己決定，知識創造，デジタルセンサ，21 世紀の課題，労働生産性

[弘前大学学術情報リポジトリ（学位論文）]

http://repository.ul.hirosaki-u.ac.jp/dspace/center_theses.jsp

要 約

本研究の主たる目的は，地域社会のイノベーションと経済成長を促すことにつながる教育の役割を見い出すこと，そして，価値創生の能力を養うための学習展開を構築することにある。労働力人口が減少する中，現在の社会経済の競争力を維持もしくは改善するためには，一人当たりの労働生産性を向上させる取り組みが求められていることは多方面で指摘される通りである。日本と同程度の教育投資を行っている国の労働生産性を基に考察すると，日本はより効果的，かつ効率的にそのような教育投資から得られる人的資源を，生産的利益（アウトプット）増大に結びつける余地が残されている。

現代社会に存在する課題は不確定であり，かつ複雑に異分野をまたがっている状況において，労働者はより創造的で課題解決を伴うスキルを求められるという指摘がある[Griffin, et al., 2012]。教育が，このような環境で活躍する将来の多様な人材を育成し，経済の持続的な発展に寄与するためには，普遍的，かつ一般的な能力として，主体性や当事者意識を伴う自己決定を軸とした，価値創生への取り組みが必要になるものと考えられる。これは，雇用のミスマッチから生じる若者の早期離職への対応として，また，いかなる産業においても利用可能な能力を養うという側面においても機能する。

本研究においては，学校教育の科学実験活動を産業における生産プロセスに当てはめ，生徒が自身の考えを表現し，共有し，当事者意識を持ちながら，実験手順を計画していく仕組みを学習展開に取り入れることで自律性を確保する。また，エネルギー，環境，生物，食料，情報通信といった教科横断的なトピック（21 世紀の課題）を大きな概念として生徒に提供し，地域の生活，経済，産業への影響を含む社会的文脈を実験に接続し解決に取り組むことで，関連性の確保も図られる。

持続的な地域経済，産業の発展に貢献することができる人材の育成のために，生徒一人一人の学習活動が知識創造のために不可欠であることを，教育全体で意識できることが望ましい。それを促すために本研究では，人的資本と地域経済，産業技術，雇用形態，科学コミュニケーションといった多様な側面から，教育における科学実験活動の再構築を行っている。

提案されるこの学習展開については，アウトリーチ活動による青森県内での実地検証を通じ，教育現場やカリキュラムへの導入のための検討がなされた。実際には，現状の個別専門性を持った教科指導，情報機材とその運用等を要因とし，学校教育へ適用の難しさを認識することになった。しかしながら，アンケートや感想を基に判断すると，学習への動機付けに対し比較的大きな効果があり，また，社会，産業とのつながりを持たせることによって，持続可能な開発やキャリア形成のための教育手法として，必要性が高いと判断することができた。今後，総合的な学習や開発教育，そして社会教育の一環としてその活用が見込める。

目 次

要 約 2

略 称 8

図表一覧 9

緒 言 － 教育と産業の連携を視野に 13

I. 研究の概観と方法論 13

人的資本と教育 13

地域経済と産業 14

労働生産性と価値の創生 15

学力調査と新たな学習展開 16

21 世紀の課題 – 大きな概念（BIG IDEA） 17

アウトリーチ活動と実地検証 19

II. 研究目標および活動の達成状況 20

III. 修士課程における主な活動と実績 23

第1章 社会的背景の調査 25

1 知識経済と教育投資，労働力 26

1.1 教育への公共投資と経済 26

1.2 労働生産性と教育投資 29

1.3 労働力人口の減少，過疎・生産性向上の課題 32

2 産業，雇用形態の変移と教育 35

2.1 産業と教育のイノベーション 35

2.2 産業構造の相違 37

2.3 雇用形態の変化 40

2.4 新規就業者の離職率，ミスマッチ 42

3 国際学力調査からの視点 45

3.1 学習到達度調査（PISA） 45

3.2 国際数学・理科教育動向調査（TIMSS） 53

3.3 国際成人力調査（PIAAC） 55

3.4 教育の質と国際学力調査の相関性 59

第2章 教育リソースの投入と活用 63

4 科学コミュニケーション 64

4.1 科学コミュニケーションの展開 64

開発教育，持続可能な発展のための教育（ESD） 65

ファシリテーション 66

4.2 キーコンピテンシー 67

4.3 21 世紀の課題 - 教科横断のための大きな概念 73

5 教育と情報通信技術（ICT） 76

5.1 学校教育と ICT 77

5.2 デジタルセンサの導入 77

活用に関わるいくつかの視点 78

教育効果と実態 79

5.3 デジタルセンサの比較と仕様 83

第3章 教科横断型の学習展開 89

6 学習展開の開発と導入 90

6.1 学習展開 90

展開 I 課題と文脈の提示 90

展開 II 課題の認識と意識化 91

展開 III 複雑性と影響の調査 93

展開 IV 実験テーマの選定と手順（シナリオ）の作成 – PLAN 94

展開 V 実験の実施と内容の改善 – DO / CHECK / ADJUST 95

6.2 一般的な学習展開との差異 96

6.3 連携先教科における学習上の達成目標 98

7 学習展開の具体例 101

7.1 地球の環境温度の変化と氷の融解の関係 102

7.2 気候変動や灌がいの水サイクルに及ぼす影響 109

7.3 化石燃料消費と光化学スモッグ，酸性雨の関係 115

7.4 再生可能エネルギーの特性とその利用 122

7.5 動植物の呼吸と光合成，二酸化炭素濃度 129

第4章 外部支援による実地検証 135

8 検証のためのアウトリーチ活動 136

8.1 科学技術コミュニケーション推進事業 137

事業の概要 137

企画の全体構想 139

企画の達成度（事後評定） 143

企画の結果，成果等 144

今後の取り組み 146

8.2 むつ小川原地域プロジェクト支援事業 146

事業の概要 146

企画の全体構想 149

実施者自己評価 151

所見とまとめ 151

8.3 日本教育大学協会研究助成 152

事業の概要 152

企画の全体構想 153

採択の理由（評価表より抜粋） 154

実施報告 155

9 実施結果の詳細と分析 156

9.1 2012 年度 中学・高校生向け実験講座 156

事前アンケート（セルフチェック） 156

参加者評価（事後アンケート） 159

参加者感想とその解析 161

参加者感想（生徒分抜粋） 164

ファシリテータ評価 166

ファシリテータ感想 168

9.2 2013 年度 教員向け研修会 169

参加者評価（事後アンケート） 169

参加者感想 172

ファシリテータ評価 175

ファシリテータ感想 176

第5章 議論と提言 177

I. 研究のアウトプットからの議論 178

人口減少を伴う社会における教育 - 価値創生 178

社会的文脈と教科横断性 - メディアの利用 179

若者の雇用，産業界のニーズへの教育的配慮 181

免許制度，教員養成 - 地域の参加 182

II. 研究，アウトリーチ活動等の省察と課題 183

提案された学習展開とその実施 183

多様な背景を持つ教科教員への対応 184

学習実施後の評価と学校への導入 185

地方都市，青森県の文脈において 186

結 言 188

教育学研究を終えて 190

学会・研究会，論文等一覧 192

INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATION IN EDUCATION (ICIE), 1ST 193

INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATIONAL RESEARCH (ICER), 6TH 198

日本理科教育学会全国大会（第 63 回） 219

日本科学教育学会北海道・東北支部研究会 224

弘前大学修士論文中間発表 231

弘前大学教育活動演習報告会 233

参考文献 236

筆者略歴 241

謝 辞 243

添付資料（データ）

略 称

APEC	Asia Pacific Economic Cooperation	アジア太平洋経済協力会議
ESD	Education for Sustainable Development	持続可能な発展のための教育
FASiD	Foundation for Advanced Studies on International Development	国際開発機構
GCR	Global Competitiveness Report	国際競争力レポート
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
ICER	International Conference on Educational Research	—
ICIE	International Conference on Innovation in Education	—
ICT	Information and Communication Technology	情報通信技術
IEA	International Association for the Evaluation of Educational Achievement	国際教育到達度評価学会
JST	Japan Science and Technology Agency	科学技術振興機構
KAM	Knowledge Assessment Methodology	知識評価法
KEI	Knowledge Economy Index	知識経済指数
NAEP	National Assessment of Educational Progress	—
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development	経済協力開発機構
PCM	Project Cycle Management	プロジェクトサイクルマネージメント
PDA	Personal Digital Assistance	携帯情報端末
PDCA	Plan, Do, Check and Adjust (Act)	—
PIAAC	Programme for the International Assessment of Adult Competencies	国際成人力調査
PISA	Programme for International Student Assessment	学習到達度調査
PPP	Purchasing Power Parity	購買力平価
RCEP	Regional Comprehensive Economic Partnership	東アジア地域包括的経済連携
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics	—
STM	Science, Technology and Mathematics	—
TIMSS	Trends in International Mathematics and Science Study	国際数学・理科教育動向調査
TPP	Trans-Pacific Strategic Economic Partnership Agreement	環太平洋戦略的経済連携協定
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	国連教育科学文化機構

図表一覧

図 1-1: 労働生産性対教育投資（中等教育）.....31
図 1-2: 全国と青森の労働力人口の減少割合.....32
図 2-1: 製造業の業種別出荷額割合.....38
図 2-2: 青森県の労働生産性（全国比）.....39
図 2-3: 業種別労働生産性（対出荷額）.....39
図 2-4: 産業別の就業者数割合.....40
図 2-5: 中小企業が考える今後取り組むべきこと.....42
図 3-1: 科学における一般的な価値観.....48
図 3-2: 科学における個人的な価値観.....49
図 3-3: 科学における自己概念.....50
図 3-4: 科学を学ぶことに対する動機付け（1/2）.....51
図 3-5: 科学を学ぶことに対する動機付け（2/2）.....52
図 3-6: OECD 加盟国での産業形態の変化（就業者数割合）.....58
図 3-7: OECD 各国の産業分布と業種分布（就業者数割合）.....59
図 3-8: GCR「教育の質」と PISA「科学的リテラシー」の相関性.....62
図 4-1: ファシリテーションとアイデアの視覚化作業.....67
図 4-2: 1960 年以降の仕事形態の変化.....68
図 4-3: 学校教育の教科間の横断的思考（理科，社会，技術，家政）.....74
図 5-1: デジタルセンサによる体感領域の拡張（概念図）.....78
図 6-1: ナレッジウェブの構築 - 社会的文脈と科学的文脈の連結.....93
図 6-2: フィッシュボーン図を用いた目的達成のためのアプローチ分析.....95
図 9-1: 活動後の価値観，認識，動機付けの分布.....163
図 9-2: 21 世紀の課題に関連する単語の記述分布.....163

表 1-1: ベーシックスコアカード.....27
表 1-2: 知識経済指数 KEI の各国比較.....28
表 1-3: カスタムスコアカード.....29
表 1-4: 同程度の教育投資を行っている国の生産性比較.....31
表 1-5: 過疎地域での問題，課題の発生状況.....34
表 2-1: 東北 6 県の製造業売上高，労働力人口，就業者数等.....38
表 2-2: 高等学校卒業後に就職をした生徒の割合（上位 10 県，下位 10 県）.....43
表 2-3: 県外就職者割合と就職先地域.....43
表 2-4: 新規学校卒業者の離職率（1 年目～3 年目）.....44
表 3-1: 科学的能力の評価領域 平均得点（上位 10 カ国・地域比較）.....46

表 3-2: 環境に関する評価項目 53
表 3-3: 内容領域別評価 平均得点（上位 10 カ国比較）－中学校 2 年 54
表 3-4: 認知的領域別評価 平均得点（上位 10 カ国比較）－中学校 2 年 55
表 3-5: 読解力，数的思考力，IT を活用した問題解決能力（上位 10 カ国比較） 57
表 3-6: GLOBAL COMPETITIVENESS REPORT ‐ 評価項目（全 12 ピラー） 60
表 3-7: ピラー5 教育・職業訓練評価（日本） 61
表 4-1: キーコンピテンシー 概要 69
表 4-2: キーコンピテンシー一覧 70
表 4-3: キーコンピテンシー ルーブリック評価表 72
表 4-4: 21 世紀の課題と関連単元例 75
表 5-1: 科学授業における生徒（GRADE8）のコンピュータ利用状況とスコアの関係 80
表 5-2: 科学授業における生徒（GRADE12）のコンピュータ利用状況とスコアの関係 81
表 5-3: GRADE8 と GRADE12 のスコア取得割合 81
表 5-4: 科学実験向けデータサンプリング機器の取扱い 83
表 5-5: ソフトウェア，インターフェイス，センサのマトリックス評価 84
表 6-1: 21 世紀の課題 ステートメント（例） 91
表 6-2:メディアを通じた情報収集と調査（例） 92
表 6-3: 系統分析‐人的行為，影響，行動（例） 94
表 6-4: 一般的な学習展開と提案された学習展開の差異 96
表 7-1: 学習展開に関連するコード表 101
表 8-1: 2012 年度および 2013 年度事業支援 136
表 8-2: 科学技術コミュニケーション推進事業 実施日程 138
表 8-3: プロジェクト支援事業の対象 147
表 8-4: プロジェクト支援事業実施日程 147
表 8-5: 研究助成の対象カテゴリーと重点テーマ 153
表 9-1: キーコンピテンシー チェックリスト（生徒） 158
表 9-2: 科学技術コミュニケーション推進事業 事後アンケート結果（生徒） 160
表 9-3: 解析の分類と基本的表現 162
表 9-4: 科学技術コミュニケーション推進事業 事後アンケート結果（ファシリテータ） 167
表 9-5: 中学校教員向け科学実験研修会 事後アンケート結果 A（教員） 170
表 9-6: 中学校教員向け科学実験研修会 事後アンケート結果 B（教員） 171
表 9-7: 中学校教員向け科学実験研修会 事後アンケート結果（ファシリテータ） 175

“世界中の国々は貿易，気候変動，司法，貧困といった多くの課題に取り組むために，

国内の関心のために限らず，より広い展望をもって互いに寄り添わなければならないし，

それがグローバリゼーションに伴う倫理的価値観というものである”

－ One World, The ethics of globalization [Singer, 2002]

緒 言 － 教育と産業の連携を視野に

I. 研究の概観と方法論

人的資本と教育

21 世紀，生徒の潜在的な資質，能力を引き出す教育は，どのような倫理的価値観を伴い，その役割を社会の中で担っていくべきであるのか，はじめに人的資本という考えを取り入れることで，教育とそこから輩出される人材の意義を結びつけていきたい。経済学において「資本」とは，人間が作り上げたり蓄積したりするもので，かつ長期間に渡って利益を生み出すものであるとされ，この量を増大させ，新たな資本を作り出すための支出を「投資」と呼ぶ [荒井, 2002]。この文脈において，教育によって知識や技能を身に付けることもまた，資本（ここでは人的資本）への投資として捉えることができる。すなわち，養われた資質能力によって，社会全体の共通の利益を生み出すこと，例えば，地域経済の発展，企業の生産性向上，知の共有による社会システムの円滑化等，が可能となる。「発展途上国問題の考察を通じた経済発展に関する先駆的研究」によってノーベル経済学賞を受賞したセオドラ・シュルツによれば，学校教育は，第一に人への投資であるとし，その投資に必要となる費用を単に経常支出として捉えることや，教育への支出を「社会福祉」全体への支出の一部であるかのように捉えることもまた，誤りであると指摘した [Schultz, 1981]。

このように投資という概念を導入したときに，そこから得られるであろうアウトプットとは，どのような形態が望まれ，いかにして測定されるべきであるのだろうか。学校とは，体系的に生徒を訓練できる環境を設定し，それを提供することによって，ある一定水準の能力を身に付けた人材を生み出すための組織として定義することができる [ベッカー, 1976]。財の生産を行う産業が，本来自身で行うことができた労働者の教育を，汎用性の高い能力に限って学校教育にその場を移行させたようにも捉えることができる。言い換えれば，学校教育と産業は，将来の労働者の供給者と需要者として相互に認識し，補完し，接続し合う立場にあるといえる。したがって，教育への投資というものは，基本的には，産業から得られる利益を繰り返し還流する形であることが望ましく，社会福祉としての捉え方である「普遍的無償教育（Universal Free Education）」とは，やや異

なる性質であるとも考えられる。

この性質の違いは，一国の雇用形態が高次産業への変化する過程で生じるものと捉えることはできないだろうか。戦後のヨーロッパで確立されてきた福祉国家の思想によれば，国と自治体による社会保障，教育保障を通じて，すべての市民の生活に責任を持つことであるとされる［世取山, 2012］。そこでは，教育は，すべての市民に無償で提供され，投資は税によってまかなわれる形で存在する。このような仕組みは，生産量と富の連続的な増大によって可能となり，確立されてきたこの福祉国家における教育の形態は，発展途上の国や地域にとって国家の最終形として目指すべき目標となっている。しかしながら，少子高齢化社会，税収不足，労働人口の不足といった負の要因が顕著に表れる現在，より産業の視点（要望）を取り入れ，それを重視する教育が求められているといえる。

地域経済と産業

21 世紀の世界経済情勢は，我々の生活の多種多様な側面に変化をもたらし始めている。その 1 つは，伝播システムの高度化に伴う，グローバリゼーションの急速な進展とその在りようではないだろうか。社会，経済，環境，雇用，産業，文化といった従来国家を形成し象徴してきた独特の要素は，今日では容易に伝播され，解釈され，相互に影響をもたらすようになっている。産業を例に挙げれば，もはや地産という概念は，1 つの地域だけで完結し成り立つことは稀であり，産業の高次化に伴って，他の異なる価値観を持った地域の市民，そしてそこから生産されたものとの共存共栄を模索する必要性が出てきている。このような社会的背景を持つ 21 世紀の学校教育において，教育への投資が，地域経済とそれを支える産業に利益をもたらし，成長を促しているかという点において，確証を得ることは容易ではない。これは，日本を含め，経済成長に鈍化が見られる先進諸国（特に福祉国家思想が強い国）において，無償教育の妥当性が問われ，それを再考することにつながるものと考えられる。

世界経済フォーラムは，各国の競争力を組織，インフラ，マクロ経済環境，医療，初等教育，高等教育，製品市場，労働市場，金融，テクノロジーといった主要な指標を基に統計データを公表している［World Economic Forum, 2012］。本研究では，特に初等～高等教育に関わるデータを適宜抽出し議論に用いているが，筆者は，産業界によって

評価された「数学・科学教育の質」という項目に注目をした。教育と経済を強く結びつけるためには，産業界のニーズを満たす人材を輩出することが欠かせない。それを学校教育の第一の目標とするのであれば，現在どのようなニーズが存在し，また今後も見込まれるのかを，教育界は常に考え，それを推測していかなければならないのではないだろうか。本研究は，「学力」=「社会，経済，産業のニーズを満たす能力」として，それぞれの相互認識を深める上で求められるであろういくつかの考察を示す。

労働生産性と価値の創生

教育と産業の結びつきを強めるためのキーワードは，経済協力開発機構（OECD）が統計を出している各国の労働生産性であると考える。少子高齢化や人口流出に伴い，日本の，とりわけ地方都市の労働力人口は，急速な減少を続けている。青森県にいたっては，年率 1 %に近い人口の流出があることから，少なくとも現状の産業生産高を維持するには，この労働生産性を向上させるための政策が求められている。それは，教育と産業が一体になって取り組みがなされるべきであって，特に人材輩出に責任を有する学校教育とその教員が，可能な限りそこに関わりを持てる環境を作り出すことが望ましい。

労働生産性は，付加価値の創生とイノベーションに伴って向上する。生徒（将来の労働者であり生産者）は，創意工夫と自己の判断に基づいていて，意思決定をしていく過程で，そのために必要な資質，能力を高めていく。筆者は，科学実験を，生産プロセスに当てはめ，価値の創生に結びつけるための学習展開の開発と導入を試みた。そのために，生徒の，学びに対する動機付け要因となる自己決定（Self-Determination）の概念を取り入れることとした。自己決定に関わる要因は主に，外発的要因（賞賛を得ること，単位や評価を受けること等）と内発的要因（興味，関心，好奇心，望みを持つこと等）に分けられる。特に，内発的要因を促進するものとして，「自律性，自治権（Autonomy）」「能力，権限（Competence）」「関連性，接続性（Relatedness）」の 3 点が挙げられ，これによって，パフォーマンス，忍耐力，創造力の向上を含め，高いレベルの動機付けと活動への参加が見込めるとされる [Deci & Ryan, 1985]。

筆者は，これら内発的要因を促進する項目を達成するために次のような環境設定を行った。

1. 自律性，自治権（Autonomy）の確保

開発教育，ニーズ調査，コミュニティ活動，企画開発等で用いられるファシリテーションとアイデアの視覚化を取り入れ，ファシリテータの補助によって，実験手順の構築をはじめ，可能な限りグループ内での自律性と自己判断を重んじるための環境を作り上げた。

2. 能力，権限（Competence）の確保

生徒の能力を構成するものとして「創造性・イノベーションスキル」「協働性・コミュニケーションスキル」「メディア・情報リテラシー」「科学的スキル」といった 4 つのキーコンピテンシーを掲げた。これらを養うための学習展開を系統的に配列し，生徒による自己評価を促した。

3. 関連性，接続性（Relatedness）の確保

地域社会に影響を及ぼしてきた，もしくは及ぼすであろうグローバルな課題（21 世紀の課題）を提示し。理科，社会，技術，家政といった教科を横断的に取り扱うことで（クロスカリキュラムを設定することで），生徒に大きな概念を認識させ，関連性を確保した。

学力調査と新たな学習展開

2006 年に実施された OECD 学習到達度調査（PISA）において，日本の中等教育卒業者の内発的要因に関わる自己概念や動機付けのレベルは，OECD 平均を軒並み下回るものであった。また，2011 年の国際数学・理科教育動向調査（TIMSS）からも，同様の傾向が見られていることから，自己決定の学習展開への導入は，日本の教育，学習環境の改善に必要不可欠であると思われる。この他，国際成人力調査（PIAAC）においては，日本の成人の読解力ならびに数的思考力が世界トップレベルであることが示された一方で，情報通信技術（ICT）を活用した問題解決能力に関しては，参加国平均を大きく下回るレベルにあり，特に，試験自体を辞退した受験者，もしくは不適合となった受験者の割合が顕著であったことは見逃すことができない事実として挙げられる。

工業化が一定程度成熟し産業全体が高次化する過程においては，マニュアル的な仕事内容から，より抽象的で課題設定自体が漠然とした仕事が増していることは，調査から明らかになっている [Autor, et al., 2003]。ICT を通じた異なる受益者間での価値を生み出す機会は増していく中で，PIAAC の示す問題解決能力の重要性は今後さらに高まっていくものと推測できる。本研究にて提案される学習展開では，情報端末とデジタルセンサの組み合わせによって，現象から得られる変化を時間的な隔たりを持つことなくリ

アルタイムに観察できる環境を設定し，実験手順の構築による価値創生とともに，改善プロセスの適用を容易にした。全体としては，社会的文脈と科学的文脈を統合する形の課題提示を常に行うことで，生徒にとって挑戦的な学習展開と環境を整えた。

提案される学習展開は次の基本的フローから成り立つ。他教科との連携，生徒の既習項目や経験等を適宜取り入れることが望ましい。

展開 I 課題と文脈の提示

現代社会が直面するグローバルな課題に関連付けた，社会的，科学的文脈を含むステートメントを生徒に提供する（大きな概念として機能）。

展開 II 課題の認識と意識化

教科書や書籍，新聞，インターネット等のメディアを利用し，課題に関連した知識，情報を収集，そしてナレッジウェブを構築する。

展開 III 複雑性と影響の調査

グループ内で，ディスカッションを通じ，課題から生じる現象，国際社会や地域社会へもたらされる影響，その結果等を分析し，文章でまとめる。

展開 IV 実験テーマの選定と手順（シナリオ）の作成

科学に関連する実験テーマを選定し（もしくは提供される実験テーマに取り組むために），ディスカッションを通じ，独創的な実験手順を構築する。（Plan）

展開 V 実験の実施と内容の改善

手順に沿って実験を行い，そこから得られるデータが妥当であることを確認しながら，最良の結果を得るために調節と改善を施す。（Do - Check - Adjust）

21 世紀の課題 – 大きな概念（Big idea）

先進国はもとより，経済発展の著しい新興国を中心にエネルギー，食料需要が急速に高まりつつある中，1970 年代に国連人間環境会議を通じ「持続可能な開発（Sustainable Development）」への取り組みを掲げる動きが出始め，保全と開発の両面を考慮した持続可能性概念に基づく社会づくりの認識が生まれた。日本においては，2003 年に「環境の保全のための意欲の増進および環境教育の推進に関する法律」が制定され，ここで初めて「持続可能な開発・発展のための教育（ESD）」が広く認知されたといえる。これ以降，学校教育においては，ESD を実現するために必要となる素質獲得を目指した学習の試み

がなされ現在にいたっている。中学校指導要領（理科）においては，第 3 学年で学ぶ，単元「科学技術と人間」が設けられ，“エネルギー資源の利用や科学技術の発展と人間生活との関わりについて認識を深め，自然環境の保全と科学技術の使用のあり方について，科学的に考察し判断する態度を養う”ことが目的化された［文部科学省, 2008e］。

本研究では，この ESD を念頭に，環境，エネルギー，食料，経済，社会情勢といった一連の社会的文脈を設け，学習への動機付けとともに，異なる領域間のつなぎ合わせを行い，従来教科ごとに分離しやすかった知識を，ナレッジウェブとして有機的な連結を図る。次に示される例のように，大きな概念として機能する課題を「21 世紀の課題」と称し，それぞれの学習展開に組み込んでいる。

- 気候変動　*Climate Change*
- 食料供給　*Food Provision*
- 水資源　*Water Resource*
- 干ばつ / 灌がい　*Draught / Irrigation*
- 光化学スモッグ　*Photochemical Smog*
- 再生可能エネルギー　*Renewable Energy*
- 生物資源　*Biological Conservation*
- 人口移動　*Population Migration*
- 情報通信技術　*Information and Communication Technology*　等

日本では，上記エネルギー，環境教育等を取り扱う単元「科学技術と人間」は，中学校三年間の科学カリキュラムの最終段階に学ぶものと位置付けられ，結果，特に時間配分の面で短時間で済まされる傾向があり，多岐に渡るその内容から到達目標がはっきりとしないということからも，教員にとって扱いにくい単元であると考えられる。事実，社会や技術，家政といった他の教科においても，エネルギー，環境，さらには国際情勢，国内政策，家庭生活，節電，省エネルギー等の関連単元の取扱いがなされていることからも，生徒にとって多面的な思考能力を養うためのクロスカリキュラムはこのような教科間のより強い連携によってなされるべきなのかもしれない。

学校教育における総合的な学習は「地域や学校，生徒の実態等に応じて，教科等の枠を超えた横断的な学習，探究的な学習，生徒の興味，関心等に基づく学習等創意工夫

を生かした教育活動を行うこと」 [文部科学省, 2008d]を目的としていることから，本研究の取り組みやメディアリテラシー教育のように，教科横断型の学習を導入する場として適している。生徒に提供することができるテーマとしては，例えば「一国の汚染が周辺国にまで影響を及ぼす越境汚染を解決する手段を探る」「干ばつが起きている国での穀物生産が減少することで日本の食卓にどのような影響が及ぼされるかシミュレーションをする」「バイオ燃料を多用することによって食用穀物の価格が高騰し，購買力の低い貧困層が多い地域で食料不足が発生している状況を調べる」等が挙げられる。おそらくこれまで科学に興味，関心示さなかった生徒にとっても，グローバルな社会的課題の解決に向けて，科学が果たす役割を知ることができる学習テーマになりうる。

アウトリーチ活動と実地検証

前述のような，教育の役割，社会経済，産業との接続，自己決定と価値創生といった側面を考慮した学習展開は，アウトリーチ活動を通じた実験講座や研修会の場で実地検証がなされた。2012 年度は，科学技術コミュニケーション推進事業を掲げる科学技術振興機構（JST）の支援のもと，弘前市内およびその近隣市の生徒（延べ 91 人）を対象に計 5 回の実験講座を実施した。2013 年度は，青森県内の産業振興に貢献をしている，むつ小川原地域・産業振興財団のプロジェクト支援事業の一環として，青森県各地の教員（延べ 98 人）を対象に計 7 回の研修会を実施した。教科横断という学習展開上の特性から，研修会においては，理科に限らず，技術，社会といった他の教科の教員も併せて参加を促し，学習展開の有効性確認を行うこととした。

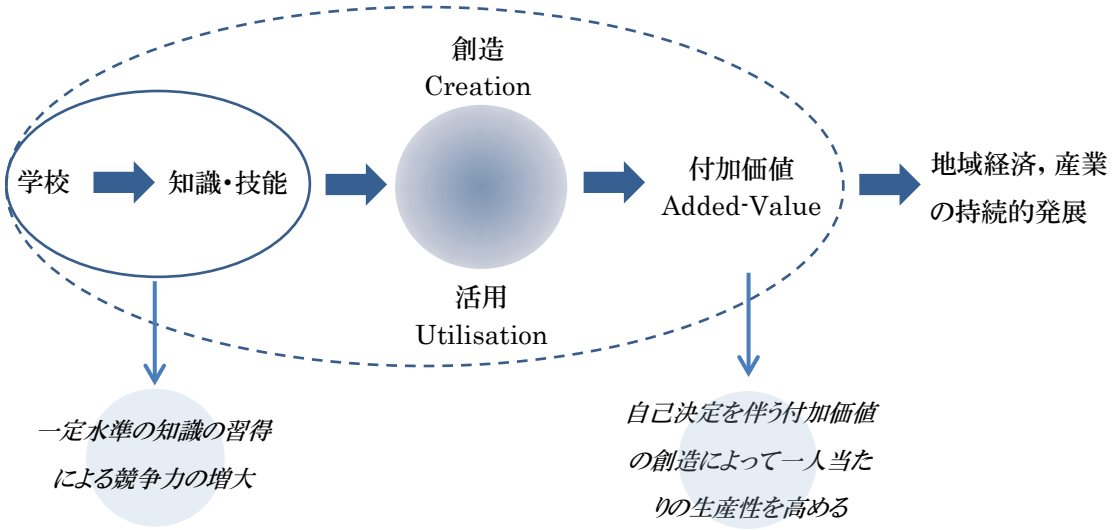
この実地検証に関わる活動を含む，研究目標とその達成状況は次項のようにまとめられる。

II. 研究目標および活動の達成状況

研究の上位目標

- ✓ 21 世紀の知識基盤型社会におけるイノベーションそして経済成長を促すための教育の役割を見い出し，先進的なメディア，デジタル教材の活用によって中学・高校生の学習意欲を高める。これによって，科学的リテラシーの向上とともに，将来の労働生産性の向上に寄与するための環境の提案につなげる。
- ✓ 青森県内の中学・高校生が 21 世紀の課題を意識しつつ，自己決定や価値創生に必要なキーコンピテンシーを習得することができる学習展開を提供する。そのために，教育，社会，産業を結びつける効果的な科学コミュニケーション活動とクロスカリキュラム型教材を開発しそれを検証する。

目標設定の概念図



途上国，新興国のように，今後人口増加が見込める社会においては，市民一人一人がある一定水準の知識を習得することで，社会全体の競争力は自然と増大する。一方，先進国の人口減少が始まった社会においては，得られた知識の活用と創造を繰り返し，付加価値を生み出していくことで，一人当たりの生産性を高め，持続的な発展につなげる必要がある。すなわち，人材を養成する学校教育の責任範囲は拡大している。

広義の研究展望	
リサーチクエッション	達成状況のサマリ
人的資本として将来の地域経済を担う生徒が，グローバルな社会的課題を意識できるような学習展開を導入することは可能かどうかを探求する。	大きな概念（Big Idea）として機能する「21 世紀の課題」を立案し，社会的文脈と科学的文脈を連携させたクロスカリキュラムの設計を行い，教育関係者（教員，生徒）向けにコンテンツ提供をした。現状の専科制度によれば，学校現場での導入には困難が伴うが，他教科との連携の重要性を認識できるという評価を得たことからも，総合的な学習等の横断型学習向けの教材としての活用が見込める。
少子高齢化と人口流出といった課題に直面する地域産業の持続可能性を見通した，知識創造と価値創生を伴う科学実験の導入は可能かどうか探求する。	開発教育で用いられ，社会的弱者の声を拾い上げるためのファシリテーションとアイデアの視覚化を用い，科学実験に自己決定のプロセスを取り入れた。ここでは，生徒が単なる知識の受容者ではなく，能動的な生産者としての役割を果たす環境を設定したことにより，グループ間で差異化や独創性の確保ができ，価値の創生につながったといえる。
PISA をはじめとする科学的リテラシー評価の項目で，とりわけ日本の生徒のレベルが低いとされる，「自己概念」や「動機付け」に関して，それを向上させることができる環境を作ることは可能かどうか探求する。	提案された学習展開は，社会における科学の役割を認識するためのナレッジウェブの構築を含んでいる。これは，科学領域に限らない，多様な興味を持つ生徒を授業に引き付けるために有効であることが，アンケート結果からも明らかであり，結果，「なぜ科学に関わる実験を行うのか」という学習の動機付けにつながることを確認した。

狭義の研究展望	
リサーチクエッション	達成状況のサマリ
中学校や高等学校における情報端末とデジタルセンサの活用は，現代の生徒にとって，科学実験を行う上での学習支援ツールとして機能するかどうかを確認する。	実地検証の場の観察によれば，現象から得られるデータを即座にグラフ化することや，短時間に様々な条件設定で繰り返し実験を行うといった，情報端末とセンサを利用することの利点は，実験手順を改善しながら最善の結果を得るプロセスをこなす際に，特に生徒の参加度の点においてその活性化に寄与することが確認された。ただし，近似曲線処理を伴う数理的側面での活用には，処理の過程がブラックボックス化することから，生徒の能力を考慮し，両者のバランスをとることが望まれる。
情報端末とデジタルセンサといった機材の学校への導入に際し，利用格差や地域独特の課題がないかどうか。もし存在するとすれば，どのように解決できるかどうかを考察する。	実地検証にて得られた参加者の感想によれば，現段階においては，予算の確保や教科に割当てられた時間，カリキュラムの再編成を行う動きにはなりにくい。その理由の多くは，学校内への情報端末の持ち込みやその利用が厳しく制限されている状態にあり，そのような制限が解消されていかない限りは，導入は進まないということであった。今後，まずは研究目的で，地域の大学との先進教材の活用を広げていく必要がある。
最終試験による生徒の学力評価が主流であるが，独創性や自主性を学習に取り入れた場合の学力評価をどのような手法によって行うかを検討する。	ルーブリックを用いた，コンピテンシー評価の手法を考案し，いくつかの活動中にその有効性の確認作業を実施した。しかしながら，少人数のグループであっても，生徒一人一人の能力向上，その他リテラシーを目視で確認することは困難であった。メディアを通じた社会的，科学的文脈，生活への影響の認識や自身の動機付けといった，表面に現れることのない内面的な要素の評価に注力するよりは，むしろ自己決定と科学的アプローチが両立できていることをファシリテータの力量によって確保していかなければならないと考える。

III. 修士課程における主な活動と実績

年月	活動と実績（○箇所は実験講座もしくは研修会）
2012年3月	・科学技術振興機構公募案件への応募（科学技術コミュニケーション活動）⇒ 同年4月採択
4月	・弘前大学教育学研究科入学
5~6月	・弘前市および近隣市中学校訪問，科学技術コミュニケーション活動の案内
7月	・3rd Pacific-Rim Conference on Education 参加（於北海道教育大学）
9月	○ 科学技術コミュニケーション活動（第1回）企画・講師（於弘前大学）
10月	・むつ小川原地域・産業振興財団プロジェクト支援への応募 ⇒ 翌年3月採択
11月	○ 科学技術コミュニケーション活動（第2回）企画・講師（於弘前大学） ・1st Int'l Conference on Innovation in Education（ICIE）参加（於 Bangkok） ・日本教育大学協会研究助成への応募 ⇒ 翌年3月採択
12月	・FD ワークショップ「能動的学修（アクティブラーニング）の推進に向けて」参加（於弘前大学） ○ 科学技術コミュニケーション活動（第3回）企画・講師（於弘前大学）
2013年1月	○ 科学技術コミュニケーション活動（第4回）企画・講師（於弘前大学）
2月	○ 科学技術コミュニケーション活動（第5回）企画・講師（於弘前大学） ・弘前大学修士論文中間発表
3月	・科学技術コミュニケーション活動 最終報告の作成と提出
5~6月	・弘前市および近隣市中学校訪問，プロジェクト支援活動（以下，研修会）の案内
7月	○ 八戸市中学校理科教育研究会および視聴覚教育研究会向け研修会　企画・講師（於八戸市） ・6th Int'l Conference on Educational Research（ICER）論文執筆と投稿
8月	○ 弘前市中学校教育研究会（理科部会および視聴覚部会）向け研修会　企画・講師（於弘前市） ・日本理科教育学会全国大会（第63回）研究発表（於北海道大学高等教育推進機構）
9月	・6th Int'l Conference on Educational Research（ICER）研究発表（於 Khon Kaen Univ.） ・APEC-Khon Kaen International Symposium 参加（於 Khon Kaen Univ.）
10月	・青森公立大学公開講座「青森の経済活性化に向けてアクションプランを提言する（計5回）」
11月	・日本科学教育学会北海道・東北支部研究会 研究発表（於岩手大学） ・青森公立大学公開講座「中小企業のマーケティング戦略を学び・磨く（計6回）」
12月	○ 北五地域中学校教育研究会（視聴覚部会）向け研修会　企画・講師（於五所川原市）
2014年1月	・日本教育大学協会年報「研究成果等の報告」の執筆と提出 ・むつ小川原地域・産業振興財団プロジェクト支援 最終報告の執筆と提出 ・弘前大学修士論文提出
2月	・弘前大学修士論文最終発表
3月	○ 青森市中学校教育研究会（理科部会）向け研修会　企画・講師（於青森市） ○ 十和田市中学校教育研究会向け研修会　企画・講師（於十和田市）

執筆論文

1. 本間 正範, 島田 透, 長南 幸安, 2013., *21 世紀の課題を用いた科学コミュニケーションの推進と学習展開の開発 - 知識創造社会における教育の役割の視点から*: 日本理科教育学会第 63 回全国大会論文集, p90

2. Homma, M., Shimada, T., Chounan, Y., 2013., *The Role of Education in Societies Seeking Knowledge Creation - Development of Pedagogy for Secondary School Science Enhanced by 21st Century Challenges*, In Proc.: The 6th International Conference on Educational Research, Khon Kaen University, Thailand, p958-969.

3. 本間 正範, 島田 透, 長南 幸安, 2013., *21 世紀の課題を用いた価値創生を伴う自己決定型学習の導入*: 日本科学教育学会第 1 回北海道・東北支部研究会研究論文集. p3-8

4. 長南 幸安, 島田 透, 櫻田 安志, 本間 正範, 2014., *21 世紀の課題を取り入れた中学校教員向け STM 教授法の開発*: 日本教育大学協会研究年報.（発行予定）

詳細は，学会・研究会，論文一覧を参照のこと

第1章

社会的背景の調査

－ 研究のインプット －

1節 － 知識経済と教育投資，労働力
2節 － 産業，雇用形態の変移と教育
3節 － 国際学力調査からの視点

本章では，教育と産業の接点を探るために，知識経済を構成するいくつかのファクターについての調査を行う。主には単位労働時間当たりの付加価値生産（労働生産性），労働力人口，教育への公共投資といった国際指標を比較しながら，地域の教育力が，そこから出力される人的資本を増強し，生産性向上への糸口となり得ることの意識付けを図る。少子高齢化の急速な進展による労働力人口の減少，過疎化による労働機会の減少といった状況において，教育への投資は人材を通じてより効率的に地域産業に還元されるべきであるという考えによれば，特に日本の労働生産性がOECD 各国と比較し低水準であることから，それを改善つなげるための教育手法を社会は求めていることになる。将来の労働者（現在の生徒）のイノベーションを促すための価値創生や生産プロセスを念頭に置きながら，産業構造や雇用情勢の多様化について理解を深める。また，国際的な学力調査と教育の質といった指標も示しながら，日本の生徒の持つ自己概念，価値観，将来への接続性といった，内発的な動機付けにつながる要素について，その向上への取り組みの必要性を示唆する。

1 知識経済と教育投資，労働力

21 世紀は，新しい知識，情報，技術が，社会のあらゆる領域での活動の基盤として飛躍的にその重要性を増す「知識基盤社会」になりつつあり，またグローバル化に伴い，人材をめぐる国際競争が加速し，異なる文化，文明との共存や国際協力の必要性も増大するといわれる [文部科学省, 2008a]。このような知識基盤社会において，教育とは，平等でかつ繁栄した健全な社会を構築するために，一国が担う役割の中で最も効果的な投資先であり，それは市民の潜在力を解き放ち，将来の世代の生活水準を向上させることにつながる。また，教育によって知識と技能を得た市民は，その国の人的資本（Human Capital）となり，永続的な富の源となり得る [United Nations, 2012]。

富は，国によって，また個々人によって価値観が異なり，その大きさをもってその国や市民の「真の富（True Wealth）」を計り知ることはできないものの，知識やそこから生み出された財を定量化する試みはいくつかの国際機関によってなされている。本節は，一国（もしくは一地域）の教育によって市民の知識，技能が養われ，生み出される価値によってその競争力と社会生活が維持されることについて，国際的な比較とともに，日本や青森県の社会的文脈に沿って示す。

1.1 教育への公共投資と経済

ある一定の期間内に国内で生み出された付加価値の総額，つまり国の経済力を量的に示す指標として，通常，国内総生産（Gross Domestic Product）が用いられる。国民総生産（Gross National Product）は，海外での生産活動を通じて生み出された付加価値を含んでいるため，本来の国の生産高をより正確に示すものとして，現在では GDP が指標として広く用いられている。そして，ある A 国の現地通貨で測定された生産高と，他の B 国の生産高とを集計し比較する際に，現地市民の生活水準の実質価値を過小または過大評価しないために，購買力平価（Purchasing Power Parity）によって換算されるようになった。例えば，A 国の財やサービスを通貨 1 単位で購入したとし，それと同等のものを B 国で得ようとした際に必要となる B 国の通貨単位数の比率がこの購買力平価

にあたり，一般的に，米ドル（以下，ドル）が「基準通貨」として用いられている [World Bank, 2008]。本稿で使われる GDP は，すべてこの購買力平価の換算係数を掛けた値，すなわち GDP(PPP)を表している。

このような GDP は，あくまで各国によって産出された付加価値を数値化したものであることから，マクロ的な経済規模の推測には適しているものの，国ごとの，社会情勢，産業構造，文化的，教育的背景といった要素を，そこから垣間みることはない。これらすべての要素に関わる，労働者としての「市民（Citizen）」の存在があり，社会開発を持続，加速させるための原動力としてその役割を果たす。したがって，これに関わる人的資本もしくは財産としての市民の「教養」を，欠くことや過小評価することはできない。ここで，各国の人的資本と経済の関わりを評価するために構築され，知識経済へと変遷する国々のパフォーマンスを表す知識評価法 KAM（Knowledge Assessment Methodology）を取り入れたい。

KAM は，148 の量的変数（パラメータ）によって構成され，単純に一国のパフォーマンスを示すことの他，いくつかの任意のパラメータを選択することで，複数の国家間のパフォーマンスを比較するためのスコアカードを備えている。この内，最も基本的な 12 のパラメータからなる知識経済指数 KEI（Knowledge Economy Index）は，表 1-1 に示される 4 つの柱によって構成され，ベーシックスコアカードと呼ばれる [World Bank, 2007]。各国の KEI およびそれを構成する個別のパフォーマンスを表 1-2 に示す。

表 1-1: ベーシックスコアカード

1. 経済インセンティブと制度体系
   - 関税/非関税障壁，2009
   - 規制，2007
   - 法体系，2007
2. イノベーションと技術導入
   - 人口一人当たりのロイヤリティ支払い，2007
   - 人口 100 万人当たりの技術論文数，2005
   - 人口 100 万人当たりの特許保有数，2003-2007
3. 教育と訓練
   - 成人識字率，2010
   - 中等教育就学率，2007
   - 高等教育就学率，2006
4. 情報通信技術インフラ
   - 人口千人当たりの電話利用，2007
   - 人口千人当たりのコンピュータ利用，2007
   - 人口千人当たりのインターネット利用，2007

[World Bank, 2012]

表 1-2: 知識経済指数 KEI の各国比較

No.	国，地域	知識経済指数（KEI）- 4 項目平均	経済インセンティブと法体系	イノベーションと技術導入	教育と訓練	情報通信技術インフラ
		（斜体は各項目の最大数を示す）				
1	Sweden	***9.43***	9.58	9.74	8.92	***9.49***
2	Finland	9.33	***9.65***	9.66	8.77	9.22
3	Denmark	9.16	9.63	9.49	8.63	8.88
4	Netherlands	9.11	8.79	9.46	8.75	9.45
5	Norway	9.11	9.47	9.01	9.43	8.53
6	New Zealand	8.97	9.09	8.66	***9.81***	8.30
7	Canada	8.92	9.52	9.32	8.61	8.23
8	Germany	8.90	9.10	9.11	8.20	9.17
9	Australia	8.88	8.56	8.92	9.71	8.32
10	Switzerland	8.87	9.54	***9.86***	6.90	9.20
11	Ireland	8.86	9.26	9.11	8.87	8.21
12	United States	8.77	8.41	9.46	8.7	8.51
13	Taiwan, China	8.77	7.77	9.38	8.87	9.06
14	United Kingdom	8.76	9.20	9.12	7.27	9.45
15	Belgium	8.71	8.79	9.06	8.57	8.42
16	Iceland	8.62	8.86	8.00	8.91	8.72
17	Austria	8.61	9.26	8.87	7.33	8.97
18	Hong Kong, China	8.52	9.57	9.10	6.38	9.04
19	Estonia	8.40	8.81	7.75	8.60	8.44
20	Luxembourg	8.37	9.45	8.94	5.61	9.47
21	Spain	8.35	8.63	8.23	8.82	7.73
22	日本	8.28	7.55	9.08	8.43	8.07
46 高所得国，地域平均		8.67	8.39	9.16	8.46	8.37

[World Bank, 2012]

日本は，現在高所得国，地域の中では，比較的低い KEI 数値を記録し，すべてのパフォーマンスにおいて，平均値を下回っている状態である。経済インセンティブと法体系については，昨今の環太平洋戦略的経済連携協定（TPP）や東アジア地域包括的経済連携（RCEP）といった多国間自由貿易協定の推進の過程で，障壁の撤廃や国内法規制の緩和等が実施され，プラス要因が生じると考えられる。本研究の関心は，「イノベーション（価値創生）」「教育（知識創造）」といった，市民の知識，技能の向上と促進に連動し，社会経済の持続的な発展のための基盤となる項目である。

このような経済と教育を接続するための KAM パラメータを，カスタムスコアカードとして構成した（表 1-3）。労働生産性については，後述に詳しいが，一人当たりの GDP と労働時間によって算出されるパラメータとして，必要な項目であると判断しカードに

追記した（本来 KAM には示されていない）。

表 1-3: カスタムスコアカード

【経済パフォーマンス】	【教育パフォーマンス】
• GDP 成長率	• 教育向け公共投資
• 国民一人当たりの GDP	• 科学学習の達成度指数（8th Grade,TIMSS）
• 単位労働時間当たりの GDP（労働生産性）	• 数学・科学教育の質
• 労働力人口	• 15 歳生徒の科学的リテラシー（PISA）
• 人間開発指数	

[World Bank, 2012] 注：労働生産性については [OECD, 2013a]を基に筆者にて追記

従来から教育への投資の結果として，それが果たして経済，産業の発展に寄与しているのか，という両者の接続性が重要であるという認識は存在しながらも，科学教育に特化した形で取り扱われた例は，管見の限り存在しない。次項以降，労働生産性と教育投資の相関，労働力人口の減少といった事案について取り上げながら，2 節のより地域的な産業と雇用という側面につなげる。学習の達成度，科学教育の質，科学的リテラシーといったパラメータについては，3 節の国際学力調査の視点から個別に論じていく。

1.2 労働生産性と教育投資

前述の通り，GDP は国全体で産出している付加価値を量的に示すものであり，その値を人口で除する値は一人当たりの GDP（GDP per capita）として利用される。これは，人口が多い少ないによらず，一人一人がどれだけの付加価値を生み出しているのかを示すとともに，その国の産業や労働水準の高さを読み取ることにもつながる。ただし，全人口のなかの労働力人口の比率は国によって異なること，労働時間や労働形態が異なること等の理由から，上記一人当たりの GDP を労働時間で除した労働生産性（以下，生産性）を用いて，単位時間当たりの付加価値創出を比較する方法が用いられる。

生産性は，数学上は「単位入力当たりに得られる出力」と解釈することができ，産

業機械における，いわゆる「効率」に相当する用語であるが，ここでは，「単位労働時間当たりに得られる富」としての定義 [Greenhalgh & Rogers, 2010]を利用することとする。OECD は，すべての加盟国の経済，環境，社会的統計を Global Competitiveness Report として毎年公開しており，そこから生産性に関わるデータを抽出することができる。日本の経済規模は，2012 年時点，GDP にて世界第 3 位，アジアでは中国に次いで第 2 位（実質値で約 520 兆円）の規模であるものの，生産性という指標を用いて比較すると，その順位は OECD 加盟各国中 21 位まで後退する。これは先進国の中で最も低い水準に位置することを示している [OECD, 2013a]。

生産性，つまり労働者一人当たりの生み出す富が低い日本において，現在の国際的な経済力を維持することができている背景には，一産業，一組織当たりの就業人数の多さや一労働者当たりの労働時間の長さがあるものと推測できる。言い換えると，日本が教育の平等性やその質を高いレベルで実現し，かつすべての市民が恩恵を得る仕組みを持つ国でありながら，そのような教育を受けた生徒が，富を生み出すための職に就き働き始めたときに，自らの力によってその生産性を十分に高めることができていない一面を示すともいえる。このことは，後述する労働力人口の減少に直面する社会において，この生産性の向上が喫緊の課題であり，教育の役割に接続しながら考察する必要がある。

筆者は，OECD が公表している，各国の中等教育向け公共投資（以下，教育投資）のデータを用い，生産性と教育投資の相関性を見い出す試みをした（図 1-1） [Homma, et al., 2013]。これによると，日本と同程度の年間約 9,000 ドル/人の投資がなされている国は，ドイツ，フィンランド，カナダ，韓国といった国々があるが，それぞれの生産性には大きな開きがあることが分かる。これらいくつかの国は，明らかに，より効率良く，教育投資によって出力される生産性を高めているものと推測できる。また，日本の教育投資は，OECD 平均と同程度であるものの，生産性にいたっては，10 %弱低い結果が出ていることも読み取れる。

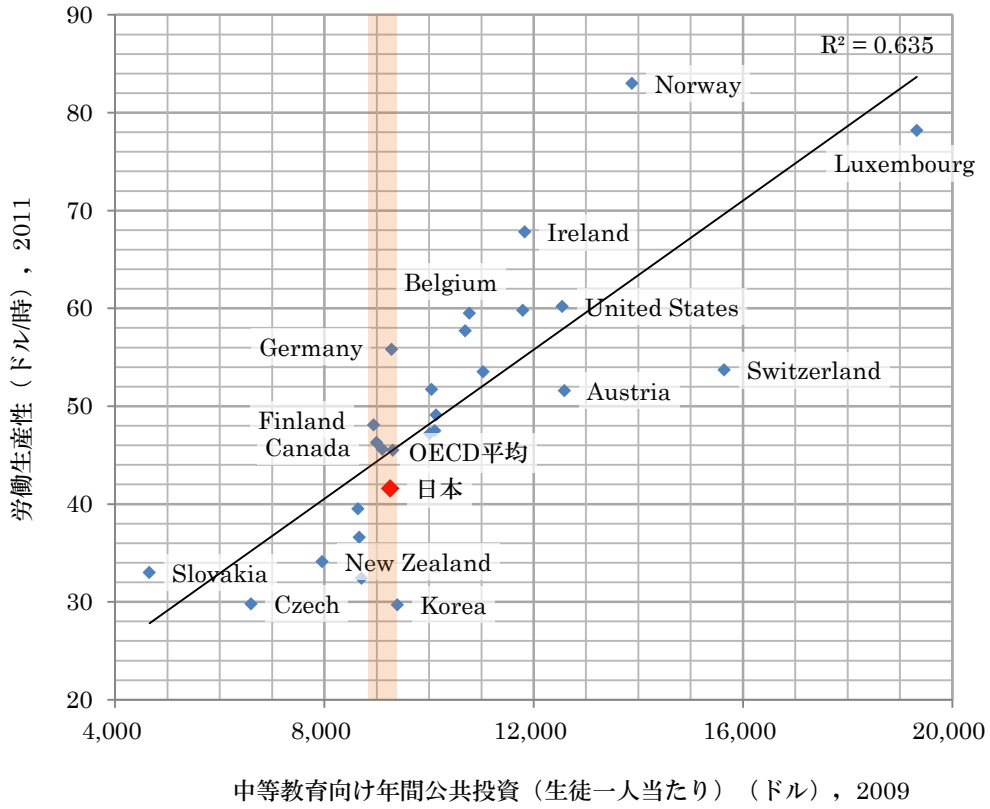


図 1-1: 労働生産性対教育投資(中等教育)

[Homma, et al., 2013] [OECD, 2013a] [OECD, 2012]

表 1-4: 同程度の教育投資を行っている国の生産性比較

No.	国	労働生産性（ドル/時），2011	対 OECD 平均比	中等教育向け年間公共投資（生徒一人当たり）（ドル），2009
1	Germany	55.8	+ 18.5 %	9,285
2	Finland	48.1	+ 5.4 %	8,947
3	Canada	46.3	+ 1.7 %	8,997
4	Italy	45.6	+ 0.2 %	9,112
5	日本	41.6	- 9.4 %	9,256
6	Korea, Rep.	29.7	- 53.2 %	9,399
	OECD 平均	45.5	―	9,312

[OECD, 2013a] [OECD, 2012]

1.3 労働力人口の減少，過疎 - 生産性向上の課題

日本においては，2009 年以降人口の自然減が始まり，15～65 歳の就業者数を示す労働力人口にいたっては，1997 年の 6,552 万人をピークに減少を続け，2012 年には 6,255 万人となった（ともに 12 月値）。また，売上高ベースで国内産業全体の約 25 %を占める製造業においては，就業者数は，1992 年の約 1,500 万人をピークに急速な減少傾向にあり，2012 年 12 月値には 1,000 万人を下回る結果となった［総務省統計局, 2013a］。

図 1-2 は，全国と青森の労働力人口の減少割合を示す。全国的には，2000 年比で約 2 %の減少である一方，青森は同年比 9 %近くの労働力が失われたことになる。少子高齢化と過疎化が相互に重なり，労働力人口の縮小が避けられない中，現在の経済力を維持するためには，個々の労働に関わる生産性の向上と付加価値の増大が最も大きな課題であるといえる。

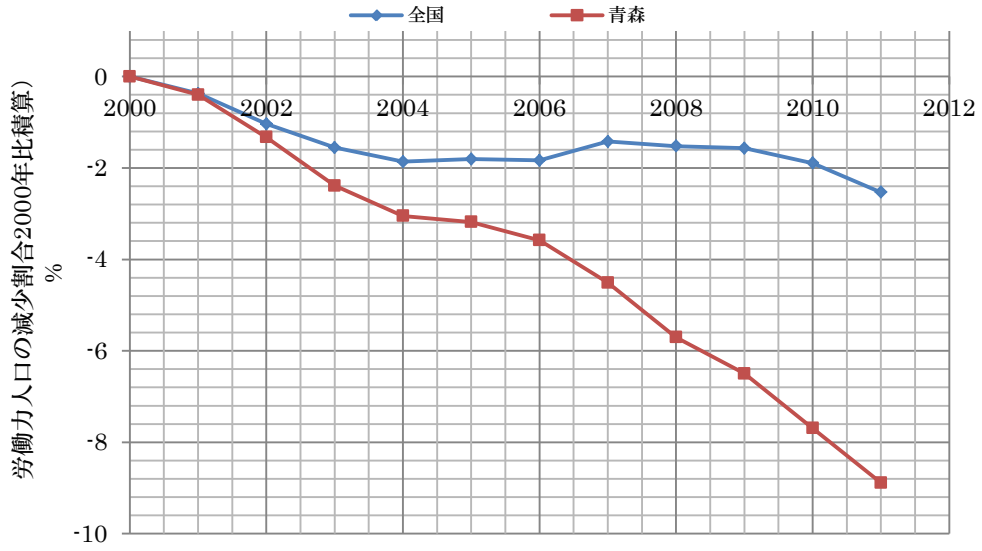


図 1-2: 全国と青森の労働力人口の減少割合

［総務省統計局, 2013a］

生産性向上への試みは，常に利益を追求しなければならない営利企業において，多くの場合，新入社員研修，中堅社員研修，その他業務改善活動を通じ実施されている。しかしながら，現在，非正規雇用（契約，派遣，パート等）の就業者数は年々上昇し，現在では全体の 35.2 %を占め，男女別では，男性 19.7 %，女性 54.5 %となっている［総

務省統計局，2013b]。これは平均就業年数の低下にもつながることから，労働者の生産性を向上させるための研修等に多大な費用をかけ投資を行ったとしても，その能力を持った人材が企業内に永続して残り還元することができるかが不透明な状況であるといえる。このことから，大学においては，産業との接続ならびにニーズを意識した人材育成に取り組む動きがある［文部科学省，2012］ものの，工業，商業といった職業訓練系以外の中等教育学校においては，そのようなニーズに一致する取り組みが十分になされているとはいえない。

参考までに，過疎（Underpopulation）は，過疎地域自立促進特別措置法によって，「人口の著しい減少に伴って地域社会における活力が低下し，生産機能および生活環境の整備等が他の地域に比較して低位にある地域」として定義される。2012 年 4 月 1 日時点での全国の過疎市町村の数は 775 市町村あり，これは全国 1,719 市町村の半数に近く，その過疎地域の人口は全国の人口の 8.1 %（約 1033 万人）となっている。青森県においては，過疎市町村の数は，40 市町村の 70 %にあたる 28 市町村であり，過疎地域に住む人口は，県人口の 21 %を超えている［青森県，2013］。

過疎状態に陥ることで発生する問題は，生活基盤，産業基盤，自然環境，災害等多方面にわたり，それが過疎を加速させ悪循環になりやすい。表 1-5 は，過疎地域で発生する問題を上位から並べたものである（発生割合で 40 %以上を示す）［総務省 地域力創造グループ，2011］。ここから，人口減少は，まず働き口の減少に伴う人口流出が主な要因となりうること，また，それが他の問題に派生しているとも読み取ることができる。もしくは，働き口の減少というよりは，むしろより高い付加価値（富）を生む第二次，第三次といった高次産業の働き口を求め，人口が大都市圏へと移動するのが実態ではないだろうか。産業の側面からのこのような過疎化への対策として，開発から始まり生産，加工，販売といった一連の産業プロセスを組み込むことによる農業の高次化（六次産業化）を展開することが，地域単位で積極的に推進されている。

表 1-5: 過疎地域での問題，課題の発生状況

No.	過疎地域で発生しうる問題	発生割合（%），2010
1	働き口の減少	74.5
2	耕作放棄地の増大	72.1
3	空き家の増加	67.5
4	獣害，病虫の発生	62.3
5	商店，スーパー等の閉鎖	56.5
6	森林の荒廃	52.9
7	公共交通の利便性低下	49.3
8	住宅の荒廃	44.6
9	伝統的催事の衰退	44.3

[総務省 地域力創造グループ, 2011]

以上経済と教育投資，生産性と労働力人口いう捉え方を基に，次節以降，国の人的資本を形成する役割を担う公教育が，現在直面する諸課題について，労働市場としての産業的視点から探求することとしたい。

2　産業，雇用形態の変移と教育

20 世紀の工業基盤社会における教育の役割としては，ある一定水準の知識，技能を持った人材を最大数輩出することであったといえる。これは，いわゆる「ベルトコンベア方式」による人材の大量生産とも捉えることができ，このためには，決められた到達基準，実施時期，時間配分，学習の流れ等を備えた系統的カリキュラム（工学的アプローチ）としての学習指導要領の存在が欠かせなかった。これは，知識，技能の伝達の点で優れており，その結果として，高度経済成長期の製造業（主にハードウェア産業）のニーズに応えられるものであったと思われる。

公教育は，その活動の結果輩出される製品（つまり卒業生）の市場価値を即座に評価することができない（もしくは，その対象としない），いわゆるノンマーケットビジネスの 1 つである [Greenhalgh & Rogers, 2010]。しかしながら，その後のキャリアで社会経済に価値をもたらし続けることができるかという観点から，前節の生産性という概念をもって，教育と経済の相関性を描写した。ここでは，21 世紀の知識基盤社会を担う人材を育成するための教育の形を見定めるために，価値創生とイノベーション，産業の雇用状況等について調査，考察を行う。

2.1　産業と教育のイノベーション

イノベーションという言葉は，一般的には「技術革新」と訳され，主に，斬新かつ高度な技術開発，発明等を伴うものと解釈されている。実際その捉え方は多様であり，例えば，市民が願望する社会的，経済的目標を達成するために，様々な種の知識を統合し応用することや，社会の基本的ニーズを充足し，製品やサービスの価値を高めるために，既存の技術を用いて「改善」を行うことであるともされる [World Bank, 2007]。また，社会システムが発展途上の国や地域においては，そこに住む市民にとって新しい技術や知識の創造，そしてその拡散自体がイノベーションとしても捉えられる [Aubert, 2005]。

一方で産業におけるイノベーションとは，新しいアイデアの活用によって，企業が，その製品開発，製造プロセス，販売活動等において，常に「付加価値（added-value）」を生むことができる状態を示す [Greenhalgh & Rogers, 2010]。また，そのようなイノベーションとは，産業に関わる企業が，それ自身にとって付加価値を伴った新しい手法や製品，サービスの開発をするプロセスであって，市場，国，世界の中で新しいかどうかは問わないという考えもある [Mytelka, 2000]。つまり，他者にとって新しいというよりも，むしろまずは自分自身にとって新しいかどうかといった，ある種利己的な要素が先行するという捉え方である。言い換えると，必ずしも既存の製品に，質的，かつ飛躍的変化を加え新しいものを創り上げることのみがイノベーションの役割ではなく，むしろそのようなものを創り上げるための新しいプロセスや展開を構築することが，その大切な役割となる。これらは，いうまでもなく，ものづくりとしての製造業においてのみ適用されるものではなく，農林水産，建設，卸，小売，運輸，通信，サービス，金融といった付加価値を生み出すことを目的とした他のあらゆる分野の産業にも適用される。

経済，産業の視点から，このようなイノベーションを可能にする「知識」とは，科学的根拠や人的技量を伴い，新しい製品の創案やプロセスの開発のために「活用（Utilisation）」できるものであるとされる。また「技術」とは，このような社会全体に蓄積された知識を横断的に統合し，発案された製品を具現化し，生産し，社会全体に提供するための「応用（Application）」であるとされる [Greenhalgh & Rogers, 2010]。したがって，イノベーションは，知識の活用と応用を伴った形で導かれるものであり，単に既存の知識を覚え込むことは，経済や産業そして現在の社会の文脈においては，知識を習得したとは言いがたい。むしろ，目標を達成するために，必要な知識，資源を投入し，設計情報を定め，それを転写させていく過程で，常に価値の創出がなされることが望ましい。

教育において，このようなイノベーションや価値の創出の概念を導入することは可能であろうか。それは，生徒の学習結果重視（その多くはテストによって評価される）の現状から，産業における生産プロセスに倣った学習過程を重視し，生徒にとってのイノベーションを促すための教育法を意味する。まず筆者は，科学教育を，生徒（特に青年期）の能力開発における「創造性を養う場」として捉え，自己の判断，決定に基づく活動を行わせることが，より広義な意味で生徒のイノベーションを促し，将来の科学的

労働者として産業の生産性向上に寄与することにつながると考える。日本，とりわけ労働力人口の減少が続く地方都市の社会的文脈を考慮した形で，教育，特に科学教育の領域におけるイノベーションを次のように定義したい。

生徒にとってのイノベーションとは，彼らが，科学と他の社会的文脈との関連性を見い出し，社会が直面する課題に挑戦するための，新しく創造的な手法をコミュニケーションを通じて自ら発案し，実験に取り入れ，それを実行し改善する生産プロセスである。そのようにして得られたイノベーションは，受益者間で共有することで，永続的に地域社会の知的，人的資源となり，持続可能な開発・発展に寄与する。

この過程で重要な要素となるのは，OECD や各国が提唱するキーコンピテンシーを中心とした，科学コミュニケーションの役割であり，これは生徒の能動的な学びを促進し，イノベーションへとつなげることに密接に関わってくる。本研究にて取り扱う科学コミュニケーションについては，4 節にてその詳細を述べる。以下，どのような資質，能力が産業界のニーズとしてあるのかを，産業，雇用形態の変化から考察したい。

2.2 産業構造の相違

生徒が卒業後に就く産業や職種について，社会構造の変化に関連付けて考えることは，教育の方向性を見い出すための糸口となりうる。ここでは，いくつかの統計資料を基に，地域的な視点で就業者数や生産性，また人材流出といった課題を取り上げ，意識化を図る。

経済センサス [総務省統計局, 2012b]から，一例として H23 年度の製造業の売り上げ高を東北圏内で比較すると，青森県は，年間 1.41 兆円で，全国では 41 位，東北 6 件では 5 位の水準である。青森県の傾向としては，労働力人口（約 706 千人）に対して，製造業に就業する労働者の割合は 1 割程度で，山形県と福島県の割合のおおよそ半数程度となる。しかしながら，製造業に就業する労働者一人当たりの売上高をみると，山形県や福島県の売上高と同程度の水準を維持し，同じ北東北の秋田県，岩手県のそれを上回る。（参考：正確な統計情報が存在しないものの，青森県においては，原子力関連産業の出荷額は，製造業の全出荷額 23 %を占めている [日本のエネルギー, 2013]ことを考慮すると，それを差し引いた後の一人当た

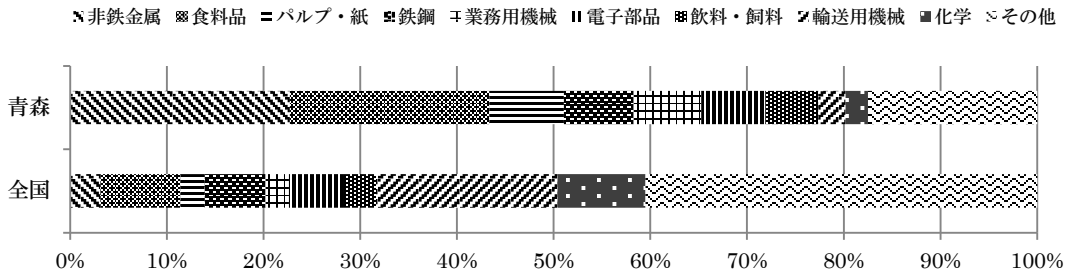
りの売り上げ高は 16.2 百万円となり，秋田県と同水準となる。）

表 2-1: 東北 6 県の製造業売上高，労働力人口，就業者数等

県	製造業売上高（≒ 出荷額）（兆円），2011	労働力人口（千人），2012	製造業就業者数（千人），2012	製造業就業者数／労働力人口	就業者一人当たりの売上高（百万円）
青森県	1.41	706	72	0.102	19.6
秋田県	1.13	535	72	0.132	15.7
岩手県	1.69	673	93	0.138	18.2
山形県	2.42	602	117	0.194	20.7
宮城県	2.67	1,148	139	0.121	19.2
福島県	4.22	998	197	0.197	21.4

[総務省統計局, 2012b]

青森県の製造品出荷額を，全国平均と比較すると，その業種分布に大きな違いがあることが分かる。リスク管理の観点から，産業の一極集中は望ましくなく，それぞれの業種における出荷額は，むしろ理想的な分布傾向にあるといえる。しかしながら，非鉄金属の出荷高は，前述の通り原子力関連の産業に引き上げられていることになるため，それを除くと突出しているのは食料品に関わる製造業（全体の 20.6 %）であるといえる。



	非鉄金属	食料品	パルプ・紙	鉄鋼	業務用機械	電子部品	飲料・飼料	輸送用機械	化学	その他
青森（%），2009	22.7	20.6	7.7	7.2	7	6.6	5.5	2.8	2.3	17.5
全国（%），2009	3.1	8.3	2.5	6.3	2.4	5.7	3.3	18.8	9.1	40.5

図 2-1: 製造業の業種別出荷額割合

[青森県, 2010]

青森県の生産性は，日本の高度経済成長期から近年にいたるまで，一貫して全国平均のおおよそ 60 %前後で推移してきた。しかしながら，図 2-2 に示されるように，H19

年以降はある一定の上昇傾向にあり，H22 年には初めて 75 %まで達し，これは主に，電子部品や電気機械等の業種で伸びが見られたためとされる［青森県, 2010 ］。業種別で生産性の全国比をみると，業種間の優劣は明らかであり，青森県においては，パルプ・紙，非鉄金属が全国平均を大きく上回る一方で，その他の産業（食料品，業務用機械，化学，電子部品，情報通信等）では，大きく下回る結果となっている（図 2-3）。言い換えると，多様な産業を横断的に取り扱う高次化の中で，今後の成長（製品の高付加価値化と生産性の向上）を見込める業種は多いことになる。

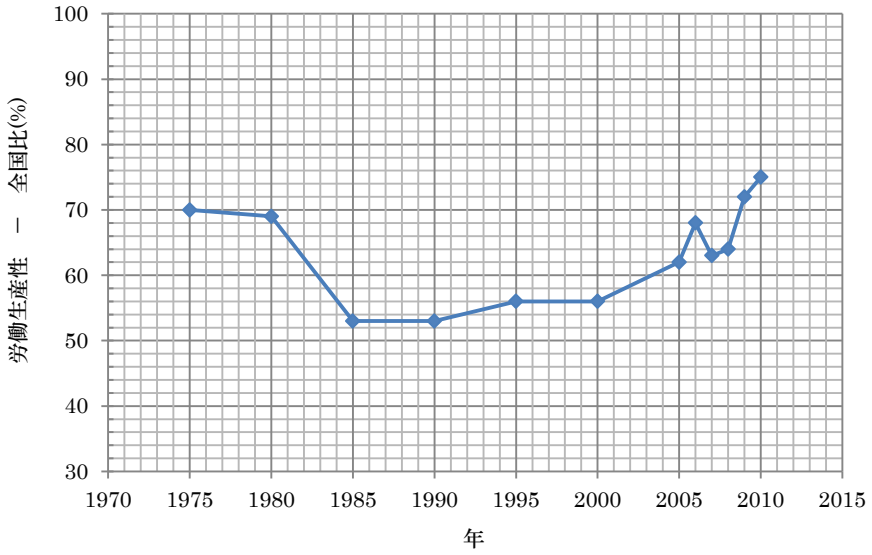


図 2-2: 青森県の労働生産性（全国比）

［青森県, 2010 ］

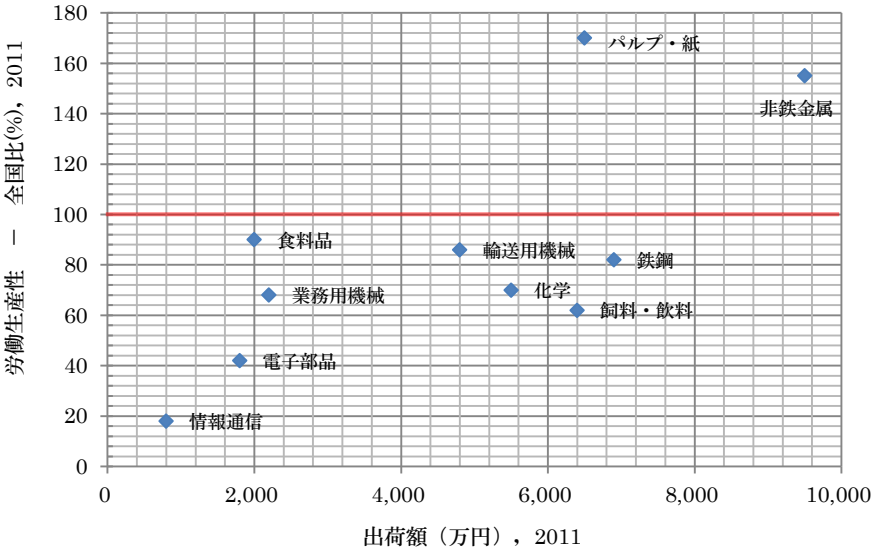
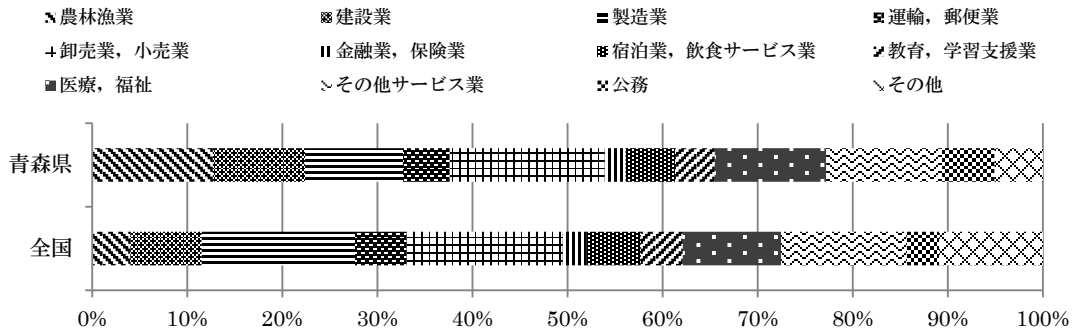


図 2-3: 業種別労働生産性（対出荷額）

［経済産業省, 2012］

2.3 雇用形態の変化

前項では，青森県の業種分布やその売り上げ高，生産性いった観点で記述したが，ここでは，将来の労働力として活躍する若年層の就業の観点から，いくつか論点を示したい。図 2-4 は青森県の産業別の就業者数割合を示す。最も大きい産業は，青森県と全国ともに，第三次産業の卸売業，小売業であり，ともに約 16 %にのぼる。次いで就業数の多い産業は，青森県の場合，農林漁業（12.7 %），全国では製造業（16.1 %）となり，ここで明確に第一次産業と第二次産業とに分岐する。



	農林漁業	建設業	製造業	運輸，郵便業	卸売業，小売業	金融業，保険業	宿泊業，飲食サービス業	教育，学習支援業	医療，福祉	その他サービス業	公務	その他
青森県（%），2010	12.7	9.7	10.3	4.9	16.3	2.2	5.2	4.2	11.7	12.2	5.5	5.1
全国（%），2010	4.0	7.5	16.1	5.4	16.4	2.5	5.7	4.4	10.3	13.2	3.4	10.9

図 2-4: 産業別の就業者数割合

[総務省統計局, 2012a]

第一次産業は，人間が自然界に直接働きかけてそこから富を得る産業を示し，第二次産業は，第一次産業によって生産された材料を加工して新たな富を生み出す産業を示す。ペティ-クラークの法則によれば，地域社会，経済の発展に伴って，産業ごとの就業人口の比率は，第一次産業から第二次産業へ，さらには第三次産業へとシフトしていくとされる［クラーク, 1945］。産業が高次化するごとに，より多くの付加価値が組み込まれることになるため，労働者の所得も増大していくことになる。今世紀においては，情報通信，ソフトウェア，知的財産，研究開発といった，大量の物質消費を伴わないが，情報や知識を取り扱うことで価値や富を増大していく第四次産業の比率が増してきている（日本標準産業分類においては，第四次産業は正式な分類とはされておらず，第三次産業として取り扱われている［総務省統計局, 2007］）。

ここで注記すべきは，前述の第一次から第四次産業を営む事業体がそれぞれ独立して存在するという考えから，1つの事業体が，複数もしくはすべての産業形態を統合して経営を行い，効率，価値，利益を最適化する統合型，横断型産業（例えば，第六次産業）の考えにシフトしている点である。前述の通り，過疎化による労働力人口の流出に直面している地域において，雇用創出やすべての産業の原点となる第一次産業（農林漁業，鉱業等）の活用という側面からも，さらなる推進と人材投入が必要になってくる。これは，青森県に限らず，食料品生産のウェイトが大きい地方都市部にて特徴的であり，付加価値を高め，生産性向上につなげる有効な手段であると思われる。

第六次産業は，これまでの単一業種による生産の完結ではなく，企画，開発，調達，製造，販売といった，一連のビジネス形態をアーキテクチャのように組み上げていく能力が人材（労働者）に求められる。すなわち，労働者が横断的，多面的視点を持つことが，産業を成功に導く有効な手段となり得る。また，このような統合型業種においては，市場経済，社会情勢，地域生活等多方面の影響を受けやすく，課題は常に抽象的，かつ流動的であることが予測できる。このことからも，労働者が備えるべき資質は，コンピテンシーを基礎とした課題解決への取り組みに即したものであり，第二次産業向けの人材育成を主なミッションとしたこれまでの教育思想とは大きく異なる可能性があるといえる。

以上のことを裏付けるように，現在，日本における雇用の約 7 割を占める中小企業が今後取り組むべきこととして挙げている課題は，「新規需要の掘り起こし」，「既存事業の高付加価値化」，さらに「新事業の展開」という調査結果が出ている（2010 年調査）[中小企業庁, 2011]。つまり，このような経営方針のもと，労働者に求められることは，ニーズ（課題）を掘り起こし，広く横断的な視点を持ちそれを展開し，生産プロセスの中で付加価値を高めていく能力であると思われる。このような傾向は，製造業のみならず，非製造業においても同様に見られる。

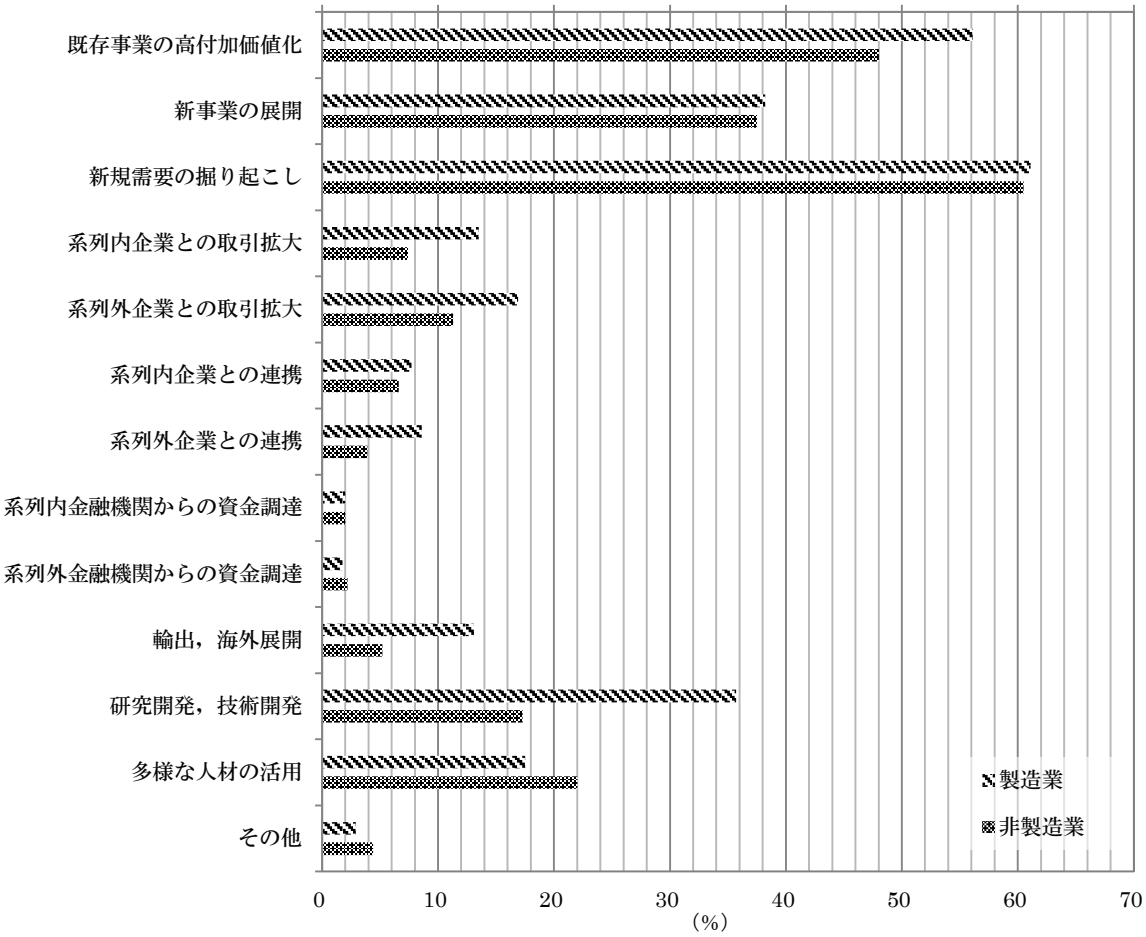


図 2-5: 中小企業が考える今後取り組むべきこと

[中小企業庁, 2011]

2.4 新規就業者の離職率, ミスマッチ

教育と産業の相互接続性を考える上で，新規学校卒業者の就業先に関する統計を用いることができる。全国の高校生が卒業後にすぐに就職をする割合は，例年卒業生の 20 % 前後という統計結果がある。しかしながら，この偏差は大きく，最も少ない県は，東京，神奈川，京都の大都市圏を除くと，奈良県で 10 %程度，最も多い県は，青森県で 31 % を越えている（2013 年 3 月時点）。これは，2012 年度において，青森県内高等学校の全卒業者のうち，3,000 人以上が就職に進路を見い出したことになる。

表 2-2: 高等学校卒業後に就職をした生徒の割合（上位 10 県，下位 10 県）

1	青森県	31.9 %	38	山梨県	15.1 %
2	佐賀県	31.0 %	39	広島県	13.8 %
3	岩手県	29.9 %	40	埼玉県	13.2 %
4	宮崎県	29.7 %	41	兵庫県	13.2 %
5	長崎県	29.6 %	42	千葉県	12.5 %
6	秋田県	29.5 %	43	大阪府	11.2 %
7	福島県	28.5 %	44	奈良県	10.9 %
8	山形県	28.2 %	45	京都府	8.4 %
9	山口県	27.8 %	46	神奈川県	7.7 %
10	鹿児島県	26.5 %	47	東京都	5.9 %

[文部科学省, 2013a]

表 2-3 に示されるように，青森県の場合，就職する生徒の内，県外に就職する生徒の割合は 40 %を超え，全国平均の 18 %を大きく上回る結果となっている。また，県外就職者の中で，北海道もしくは東北地方での就職は 13 %程度にとどまり，約半数が東京都，30 %弱が東京都を除く関東地方への就職となっている（2013 年 3 月時点）。これは，単純に人口流出と過疎化の要因となっているだけではなく，青森県内における教育投資によって本来得られるはずの若い人的資源（労働者であり生産者でもある）の損失を意味し，このことからも，教育投資から生じるアウトプットを地域内で還流するための取り組みが必要となる。

表 2-3: 県外就職者割合と就職先地域

	青森県	全国
県外就職者割合，2013	41.1 %	18.0 %

県外就職者を 100 とした時の就職先地域	青森県	全国
北海道・東北	13.6 %	3.8 %
関東（東京除く）	27.9 %	18.3 %
東京	49.5 %	29.9 %
愛知	2.7 %	11.6 %
大阪	1.5 %	10.6 %
その他府県	4.5 %	25.5 %

[文部科学省, 2013a]

産業が求める人材と新規学校卒業者との間にミスマッチが生じていることは多方面で指摘され，3 節 4 で示す「教育の質」という国際的な指標からもそれは明らかになっている。事実，この状況は離職率の高さとして顕著に表れており，青森県では，高等学校，短大等，大学等卒業者が，離職する割合が全国と比較し高く，人材の定着化がなされていない。特に 1 年目の離職率は，全学校区分で 20 %を超え，さらに 2 年目，3 年目にかけて，3 人に 1 人の割合で離職していることになる。全国的にみてもこの離職率は高い傾向にあり，雇用主にとっては，雇用するまでの求人や雇用後の社内研修等多額の投資をすることにためらいをもち，より専門性の高い即戦力のある人材（経験者や派遣人員）の採用に流れているとも捉えられる。すなわち，新規学校卒業者にとっては雇用上の悪循環が生じており，産業界のニーズに即した人材を学校が輩出し，ミスマッチを解消していく手段としての教授法や学習展開が求められている。

表 2-4: 新規学校卒業者の離職率(1 年目～3 年目)

高等学校	2009 年 3 月卒 (3 年目)	2010 年 3 月卒 (2 年目)	2011 年 3 月卒 (1 年目)
青森県	37.3 %	37.6 %	28.2 %
全国	35.7 %	31.8 %	20.8 %

短大等	2009 年 3 月卒 (3 年目)	2010 年 3 月卒 (2 年目)	2011 年 3 月卒 (1 年目)
青森県	43.3 %	30.3 %	25.5 %
全国	39.3 %	30.3 %	19.7 %

大学等	2009 年 3 月卒 (3 年目)	2010 年 3 月卒 (2 年目)	2011 年 3 月卒 (1 年目)
青森県	31.6 %	27.8 %	21.7 %
全国	28.8 %	23.3 %	14.3 %

[青森県, 2013]

3　国際学力調査からの視点

経済協力開発機構（OECD）が 2006 年に実施した学習到達度調査（PISA）と国際教育到達度評価学会（IEA）が 2011 年に実施した国際数学・理科教育動向調査（TIMSS）によれば，日本の生徒は，全般的に科学を学ぶ意義や有用性，将来の職業との関連性への認識が少なく，また，科学を学ぶことの自信，自己決定への関わり等も低い水準であることが明らかになっている [OECD, 2007] [IEA, 2012]。本節では，新たな学習展開を構築するための方向性を定めるために，学力は常に高位に位置する日本の生徒が，社会や将来への接続性を同時に意識付けすることができていないという背景について，統計を用いた分析を行う。また，ICT を用いた課題解決能力の観点から，成人向けに実施された PIAAC（国際成人力調査）に関しても，記述する。

3.1　学習到達度調査（PISA）

PISA における科学的リテラシーは，次に示される 5 つの項目を柱に，義務教育修了段階の生徒（15 歳）が持っている知識や技能を，実生活の様々な場面で直面する課題においてどの程度活用できるかを評価するとともに，思考プロセスの習得，概念の理解についても同様に評価している [OECD, 2007]。

- 疑問を認識し，新しい知識を獲得し，科学的な現象を説明すること
- 科学が関連する諸問題について，証拠に基づいた結論を導き出すための科学的知識を持ち，それを活用すること
- 科学の特徴的な諸側面を，人間の知識と探求の一形態として理解すること
- 科学と技術が我々の物質的，知的，文化的環境をいかに形作っているかを認識すること
- 思慮深い一市民として，科学的な考えを持ち，科学が関連する諸問題に自ら進んで関わること

以上を含む科学的能力の領域は，次の 3 領域にまとめられる。

- 科学的能力（第 1 領域）： 科学的な疑問を認識すること
- 科学的能力（第 2 領域）： 現象を科学的に説明すること
- 科学的能力（第 3 領域）： 科学的証拠を用いること

2006 年の PISA において，このような科学的リテラシーを評価するための能力試験ならびにアンケート調査が実施された。上記 3 領域において生徒の平均得点が最も高かった国はフィンランドであり，日本の科学的能力の結果はそれぞれ 8 位，7 位，2 位という結果であったが，上位数カ国の中での統計上の有意差はないとされる [国立教育政策研究所, 2006]。以下に，総合スコア（全体）とともに，個別の科学的能力のスコアを示す。なお，括弧表記の国や地域は，OECD に加盟していないパートナー参加という位置付けになる。

表 3-1: 科学的能力の評価領域 平均得点（上位 10 カ国・地域比較）

No.	科学的リテラシー全体（総合）	得点	「科学的な疑問を認識すること」	得点	「現象を科学的に説明すること」	得点	「科学的証拠を用いること」	得点
1	Finland	563	Finland	555	Finland	566	Finland	567
2	（Hong Kong）	542	New Zealand	536	（Hong Kong）	549	日本	544
3	Canada	534	Australia	535	（Chinese Taipei）	545	（Hong Kong）	542
4	（Chinese Taipei）	532	Netherlands	533	（Estonia）	541	Canada	542
5	（Estonia）	531	Canada	532	Canada	531	Korea	538
6	日本	531	（Hong Kong）	528	Czech Republic	527	New Zealand	537
7	New Zealand	530	（Liechtenstein）	522	日本	527	（Liechtenstein）	535
8	Australia	527	日本	522	（Slovenia）	523	（Chinese Taipei）	532
9	Netherlands	525	Korea	519	New Zealand	522	Australia	531
10	（Liechtenstein）	522	（Slovenia）	517	Netherlands	522	（Estonia）	531

OECD 平均は 500 点 / （ ）表記は OECD 非加盟国・地域

[OECD, 2007]

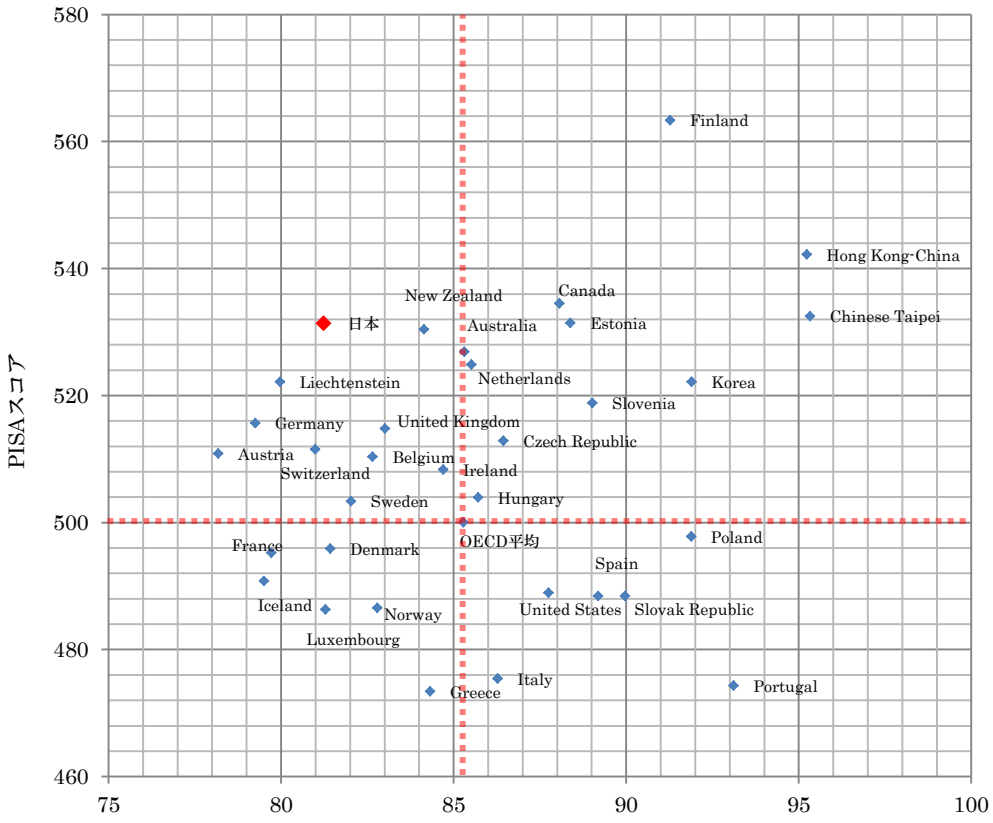
筆者は，2006 年の PISA 結果から，そのスコア自体よりもむしろ生徒の価値観や動機付けといった，学習と将来への展望を強く持つ上で必要な内面的な要素に着目し，本研究で提案される学習展開の構築への参考とした。

全体的な傾向としては，多方面で指摘されている通り，日本の生徒の学力は高いものの，一方で，科学の価値観，自己概念，将来性，動機付けといった点でOECD各国と比較すると大きな開きがあることが分かる。これらは，生徒が新規学校卒業生として，社会，産業の中で生産活動に関わる際に，自身が学んできたことを効率的に展開する手段を導き出すために重要な要素である。このような背景から，教育と産業との接続性をより強く確保するために，また，就職後の短期間での離職や仕事とのミスマッチの解消のためにも，現代の社会環境や生徒の周辺領域に合わせる形の教授法とその最適化が求められていることは容易に推測できる。

次に，いくつかの評価領域に分けて，統計を用いた分析の詳細を示したい。（[OECD, 2007]を基に筆者にて編成）

科学における一般的な価値観

自然界を理解するため，生活水準の改善につながるため，といった科学を学ぶことの有用性について，肯定的に考える生徒の割合は，OECD 平均よりも 10 %程度低いものの，全体的には大きな差異は見られない。経済の改善や社会的利益といった側面についても，科学の有用性としては，概ね肯定的に捉えられている。



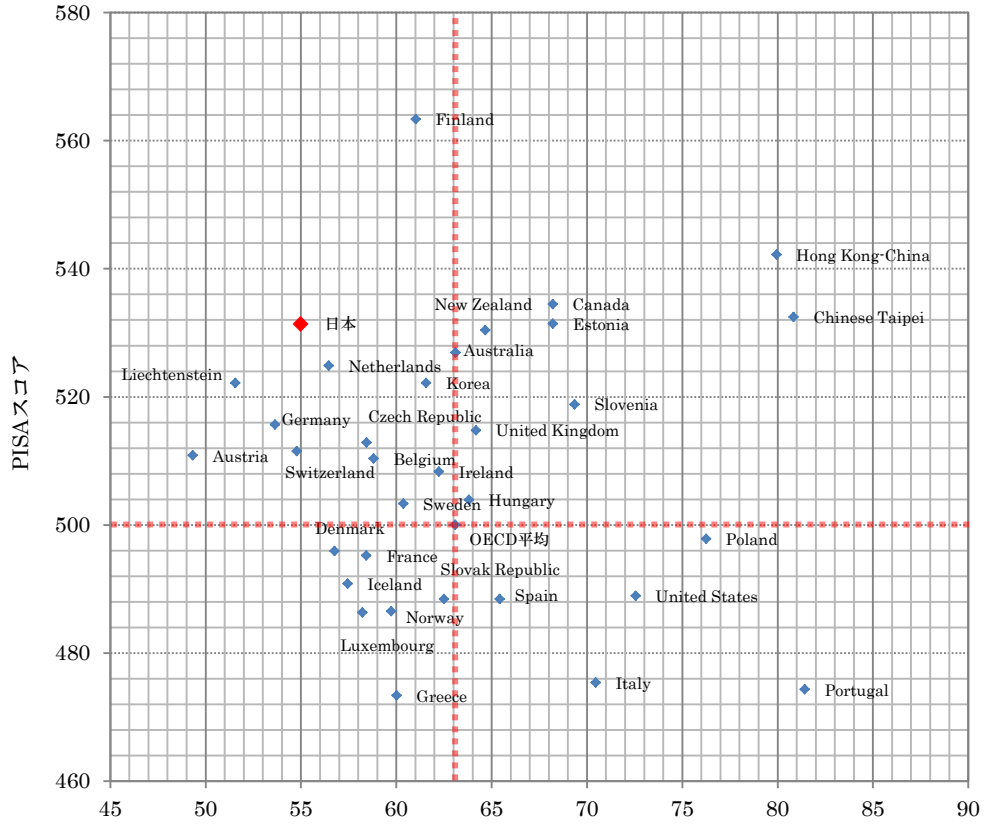
科学における一般的な価値観（A～E項目の平均）（%）－ 破線はOECD平均を示す

肯定的（強く同意もしくは同意）な生徒の割合	日本	OECD 平均
A) 科学は，我々が自然界を理解するために有用である。	81 %	93 %
B) 科学技術の発展は，我々の生活水準の改善につながる。	87 %	92 %
C) 科学は，社会にとって価値がある。	81 %	87 %
D) 科学技術の発展は，経済の改善につながる。	81 %	80 %
E) 科学技術の発展は，通常，社会的利益をもたらす。	76 %	75 %
A～E 項目の平均	81 %	85 %

図 3-1: 科学における一般的な価値観

科学における個人的な価値観

科学が自分自身にとってどれだけの価値を持つかというこの領域では，卒業後や成人になってからの科学の有用性や価値観について，OECD 平均に比べ 10～20 %程度低い結果となっている。自らの生活や将来に科学を関連付けている生徒が全体の半数程度に収まっていることになる。



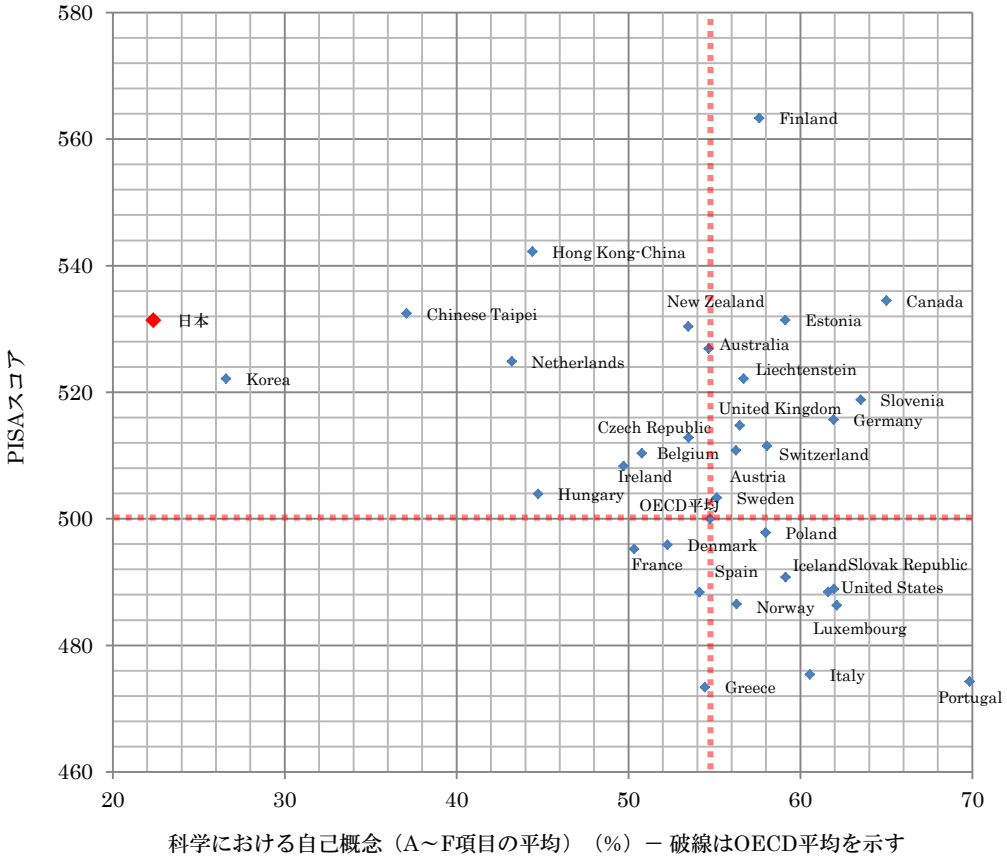
科学における個人的な価値観（A～E項目の平均）（%）－ 破線はOECD平均を示す

肯定的（強く同意もしくは同意）な生徒の割合（%）	日本	OECD 平均
A）科学は，私が身の回りの現象を理解するために有用である。	67 %	75 %
B）私は成人になったら，科学を様々な方法で使用するだろう。	44 %	64 %
C）科学のいくつかの概念は，私が他人にどのように関係しているかを見い出すために有用である。	54 %	61 %
D）私が卒業したら，科学を使う機会はたくさんあると思う。	48 %	59 %
E）科学は，私に関連していると思う。	61 %	57 %
A～E 項目の平均	55 %	63 %

図 3-2: 科学における個人的な価値観

科学における自己概念

自己の能力や学びについて問うこの領域では，全項目にて，OECD 平均を大きく下回る結果となっている。この種の質問は，生徒がどれだけ自信をもっているかを読み取ることにもつながる反面，生徒の性格（自己肯定感が強いかどうか）によって大きく左右されると考えられる。科学に関する新しいアイデアやトピックを理解することについて特に水準が低く，肯定的な回答結果は 10 %強ということで，ほぼすべての生徒が科学の学習は難しい（もしくは自信がない）と感じている。

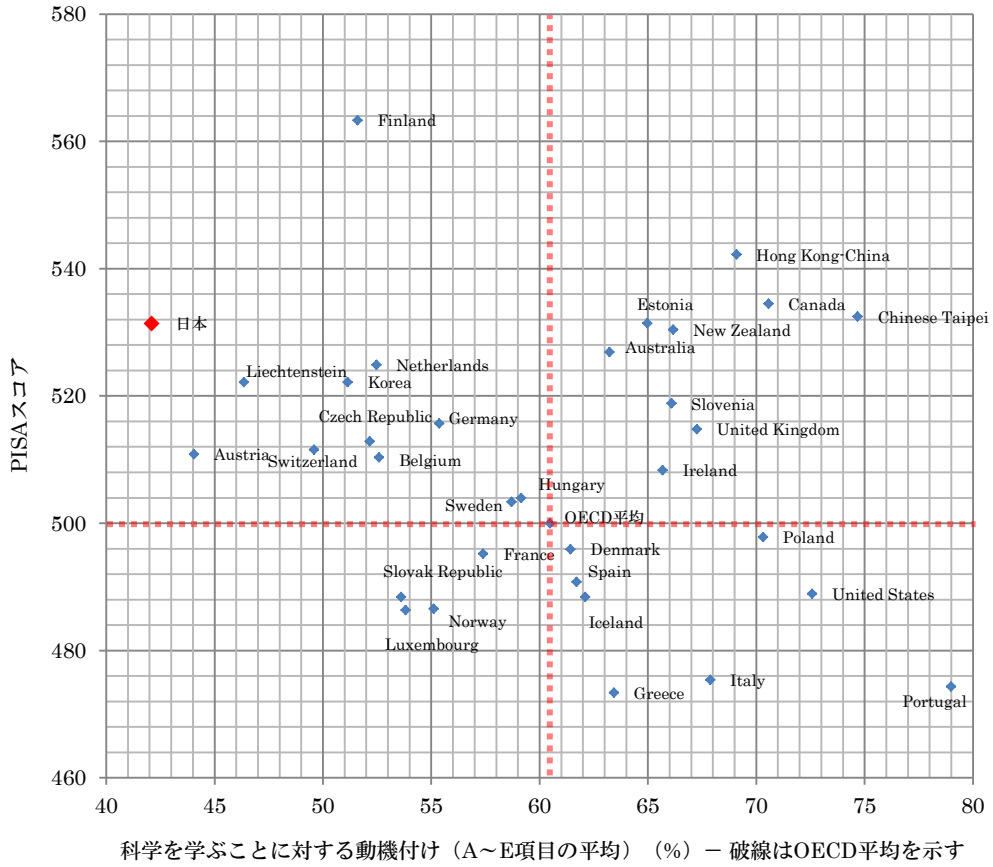


肯定的（強く同意もしくは同意）な生徒の割合（%）	日本	OECD 平均
A) 学校の科学に関連するテストでは，私はたいてい良い回答をすることができる。	29 %	65 %
B) 学校で教わっていることは，私はとても良く理解できる。	38 %	59 %
C) 私は，学校の科学に関連するトピックをすぐに学ぶことができる。	25 %	56 %
D) 学校の科学では，私は容易に新しいアイデアを理解することができる。	18 %	55 %
E) 私にとって，応用的な科学のトピックを学ぶことは容易である。	11 %	47 %
F) 私にとって，一般的な科学のトピックを学ぶことは容易である。	13 %	47 %
A～F 項目の平均	22 %	55 %

図 3-3: 科学における自己概念

科学を学ぶことに対する動機付け

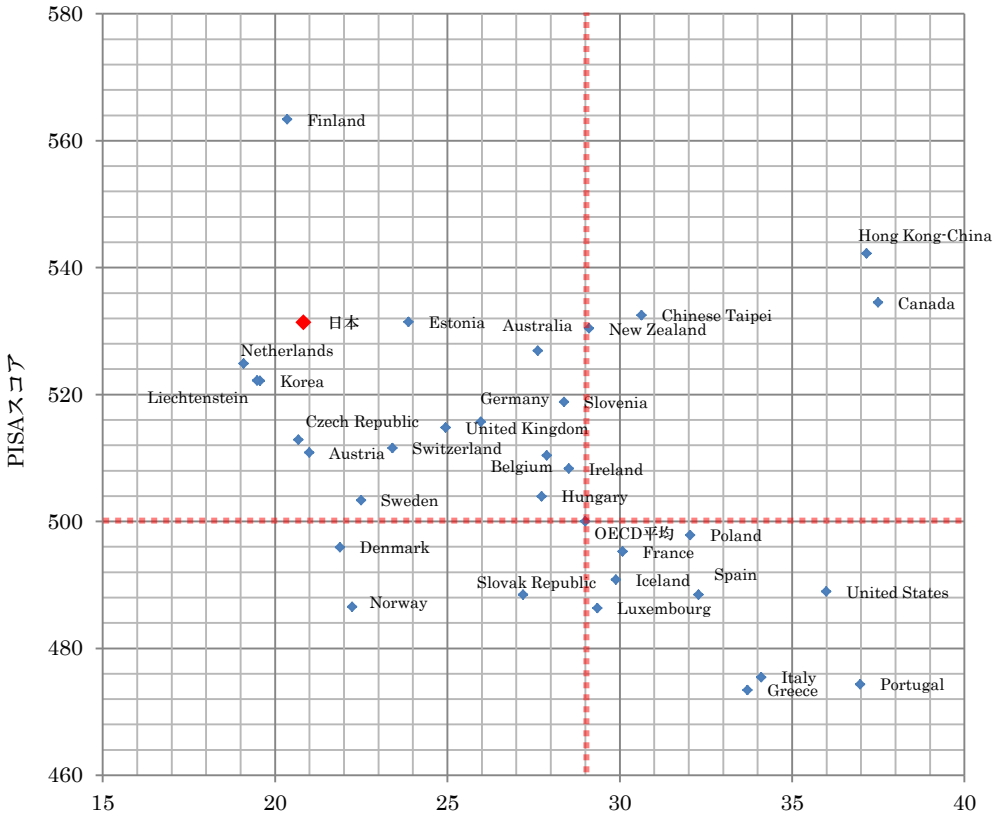
科学を学ぶことについて，前述の個人的価値観と類似ではあるが，生徒はどのような将来を見据えた動機付けをもっているのかをこの領域は調査している。キャリア形成といった点，将来に渡る科学の有用性といった点で，OECD 平均から 10～20 %ほど低く，科学の学習をすることで，多くの生徒が将来への展望を見い出せていないことが分かる。



肯定的（強く同意もしくは同意）な生徒の割合（%）	日本	OECD 平均
A）私は，科学が私にとって有用であると知っているから学校で学ぶ。	42 %	67 %
B）科学の学習を努力することは，将来やりたいことの助けになるから価値がある。	39 %	63 %
C）科学を学習することは，私の今後のキャリアを良いものにするために価値がある。	41 %	61 %
D）学校の科学の授業では，私が将来仕事に就くために多くのことを学ぶ。	47 %	56 %
E）私が学校で科学を学ぶことは，将来の学業に必要であるから大切である。	42 %	56 %
A～E 項目の平均	42 %	60 %

図 3-4: 科学を学ぶことに対する動機付け（1/2）

同じく動機付けに関わることで，卒業後の学業や将来の仕事について，科学の有用性や関連性を持てずにいる生徒は多い。しかしながら， OECD 平均も同様に低いことから，各国に共通している事案であると推察することができる。



科学を学ぶことに対する将来の動機付け（A～D項目の平均）（%）

肯定的（強く同意もしくは同意）な生徒の割合（%）	日本	OECD 平均
A）私は，将来科学に関係する仕事に就きたい。	23 %	37 %
B）私は，高等学校卒業後も科学を学びたい。	20 %	31 %
C）私は，大人になってから科学のプロジェクトに関わりたい。	17 %	27 %
D）私は，これからの生涯，応用的な科学の分野に関わっていきたい。	23 %	21 %
A～D 項目の平均	21 %	29 %

図 3-5: 科学を学ぶことに対する動機付け(2/2)

環境に関する領域

PISA では，環境問題についての生徒の関心や楽観性も評価項目としており,4 節で取り上げる 21 世紀の課題に関連する，森林伐採，酸性雨，温室効果ガス，エネルギー不足，水資源といった多様な分野を項目に挙げている。認識や関心は概ね高いものの，楽観性という面では OECD 平均と同じく低く，多くの生徒は，これらを将来に渡る解決困難な課題として捉えている。

表 3-2: 環境に関する評価項目

関心のレベル

環境に関する項目が自分自身や市民にとって深刻な問題であると思う生徒の割合（%）	日本	OECD 平均
A）大気汚染	95 %	92 %
B）動植物の絶滅	92 %	84 %
C）土地の開発のための森林伐採	92 %	83 %
D）エネルギー不足	92 %	82 %
E）核廃棄物	88 %	78 %
F）水資源不足	86 %	76 %
A～F 項目の平均	91 %	83 %

楽観性

環境に関する項目が今後 20 年程度のうちに改善するだろうと思う生徒の割合（%）	日本	OECD 平均
A）大気汚染	20 %	16 %
B）動植物の絶滅	16 %	14 %
C）土地の開発のための森林伐採	16 %	13 %
D）エネルギー不足	22 %	21 %
E）核廃棄物	17 %	15 %
F）水資源不足	20 %	18 %
A～F 項目の平均	18 %	16 %

[OECD, 2007]

3.2 国際数学・理科教育動向調査（TIMSS）

IEA が実施している TIMSS の主要な目的は，初等中等教育段階における，生徒の数学および科学の教育達成度（Educational Achievement）を国際的な尺度によって測定し，カリキュラム，指導方法，教員の資質，学習環境条件等の諸要因との関係を，参加国，地域間で組織的に比較調査することにある。調査対象は 2 つの母集団があり，1 つは，「正規の学校教育の 4 年目にあたる学年に在籍している生徒（日本の小学校 4 年生）」，

他方は「正規の学校教育の 8 年目にあたる学年に在籍している生徒（日本の中学校 2 年生）」とされている [IEA, 2012]。

TIMSS の得点分布は，4 つの水準によって設定され，それぞれの水準に達成した生徒の割合を読み取ることができる。また，物理，化学，生物，地学といった内容領域別の得点とともに，知識，応用，推論といった認知的領域における得点も提供される。この 4 つの水準は，次のように特徴付けられる。

- 625 点（より高い水準）：生徒は生命科学，物理化学，地球科学についての複雑で抽象的な概念についての理解を伝達することができる。
- 550 点（高い水準）：生徒は科学的なサイクル，システムおよび原理に関連する概念についての理解を基に論証することができる。
- 475 点（中程度の水準）：生徒は様々な文脈において，基礎的な科学的知識について認識し，応用することができる。
- 400 点（低い水準）：生徒は生命科学および物理化学に関するある程度の基礎的な事実を認識することができる。

以下に内容領域別と認知的領域別の平均得点表を示す。日本の生徒は，すべての領域で，高い水準である 550 点前後を獲得している。

表 3-3: 内容領域別評価 平均得点（上位 10 カ国比較）－中学校 2 年

No.	物理	得点	化学	得点	生物	得点	地学	得点
1	Singapore	602	Singapore	590	Singapore	594	Finland	574
2	Korea	577	Taiwan	585	Korea	561	Taiwan	568
3	日本	558	日本	560	日本	561	Singapore	566
4	Taiwan	552	Slovenia	558	Taiwan	557	Slovenia	560
5	Russia	547	Finland	554	Finland	548	Korea	548
6	Finland	540	Russia	554	Russia	537	日本	548
7	Hong Kong	539	Korea	551	Hong Kong	535	Hong Kong	539
8	England	533	Hungary	534	England	533	England	536
9	Slovenia	532	England	529	Slovenia	532	Russia	535
10	Hungary	525	Hong Kong	526	United States	530	United States	533

[IEA, 2012]

表 3-4: 認知的領域別評価 平均得点(上位 10 カ国比較)ー中学校 2 年

No.	知識	得点	応用	得点	推論	得点
1	Singapore	588	Singapore	589	Singapore	592
2	Taiwan	569	Taiwan	570	日本	568
3	Finland	564	Korea	561	Korea	564
4	Russia	557	日本	561	Taiwan	551
5	Korea	554	Finland	549	Finland	547
6	Slovenia	551	Slovenia	542	Hong Kong	538
7	Hong Kong	544	Russia	539	England	537
8	日本	541	Hungary	532	Slovenia	536
9	England	533	England	531	Russia	533
10	United States	527	Hong Kong	529	Australia	526

[IEA, 2012]

2011 年調査において，科学の学習環境や学習に対する動機付けの評価がなされ，特に以下の項目について肯定的に回答した生徒の割合が少なかったとされる［国立教育政策研究所, 2011］。この点は，前述の PISA で実施された評価結果と一致する内容であることからも，中学校段階での科学の学習に対する苦手意識は明瞭に表れ，また社会や将来へのつながりを認識し難い現状を示している。

- 科学の勉強が好きかどうか
- 先生の科学の授業が分かりやすいかどうか
- 科学を学ぶことに自信があるかどうか
- 自分が望む仕事に就くために，科学で良い成績をとる必要があるかどうか
- 将来科学を使うことが含まれる職業に就きたいかどうか

3.3 国際成人力調査(PIAAC)

PIAAC は,OECD に加盟する 22 カ国とその他 2 カ国を合わせ計 24 カ国において，16～65 歳の約 166,000 人を対象にして実施された国際成人力調査である(実施期間 2011 年 8 月～2012 年 2 月)。この調査では，情報処理コンピテンシーとして社会や職場で有用となる，読解力，数的思考力，IT を活用した問題解決能力が測定され評価される。このような能力に加え，読解や計算に関連した日々の活動，コラボレーション等に関わる

能力，また，自身の能力や資格が，どの程度仕事に生かされているか等も調査される[OECD, 2013c]。

表 3-5 に示されるように，読解力ならびに数的思考力について，日本は OECD 各国のレベルと比較し，ともに好成績をおさめている。前者については全体の約 70 %，後者については全体の約 60 %がレベル 3～4 を獲得している。これに加え，レベル 1 未満～レベル 1 に該当する割合が極めて少ないことが，全体のスコアを押し上げている要因となっている。ただし，レベル 5 の特に優れたスコアを獲得した割合は，フィンランドの割合の半分程度におさまる。OECD 加盟国の中でも，日本は移民が少なく（人種がほぼ単一），公教育の普遍性が高いレベルで保たれている（平等性の確保）といった点が，高水準につながっていると思われる。

一方で，IT を活用した問題解決能力について，日本は，OECD 各国と比較するとその水準の低さが際立っている。レベル 3 の割合は高水準の他国と同等の 8 %前後，レベル 2 が OECD 平均と同水準であるものの，IT の利用経験なし，試験を辞退，または不適合となった割合は全体の 35 %にのぼる。このことが，全体の水準を大きく下げている要因となっている。

表 3-5: 読解力，数的思考力，IT を活用した問題解決能力（上位 10 カ国比較）

I. 読解力

（斜体は各レベルの最大数を示す）

No.	国	平均	レベル 1 未満	レベル 1	レベル 2	レベル 3	レベル 4	レベル 5	Missing
1	日本	***296.2***	0.6	4.3	22.8	***48.6***	***21.4***	1.2	1.2
2	Finland	287.5	2.7	8.0	26.5	40.7	20.0	***2.2***	0.0
3	Netherlands	284.0	2.6	9.1	26.4	41.5	16.8	1.3	2.3
4	Australia	280.4	3.1	9.4	29.2	39.4	15.7	1.3	1.9
5	Sweden	279.2	***3.7***	9.6	29.1	41.6	14.9	1.2	0.0
6	Norway	278.4	3.0	9.3	30.2	41.6	13.1	0.6	2.2
7	Estonia	275.9	2.0	11.0	34.3	40.6	11.0	0.8	0.4
8	Belgium	275.5	2.7	***11.3***	29.6	38.8	11.9	0.4	5.2
9	Czech	274.0	1.5	10.3	***37.5***	41.4	8.3	0.4	0.6
10	Slovakia	273.8	1.9	9.7	36.2	44.4	7.3	0.2	0.3
	OECD 平均	272.7	3.3	12.2	33.3	38.2	11.1	0.7	1.2

II. 数的思考力

No.	国	平均	レベル 1 未満	レベル 1	レベル 2	レベル 3	レベル 4	レベル 5	Missing
1	日本	***288.2***	1.2	7.0	28.1	***43.7***	***17.3***	1.5	1.2
2	Finland	282.2	3.1	9.7	29.3	38.4	17.2	***2.2***	0.0
3	Belgium	280.4	3.0	10.4	27.7	36.8	15.4	1.6	5.2
4	Netherlands	280.3	3.5	9.7	28.2	39.4	15.6	1.3	2.3
5	Sweden	279.1	***4.4***	10.3	28.7	38.0	16.7	1.9	0.0
6	Norway	278.3	4.3	10.2	28.4	37.4	15.7	1.7	2.2
7	Denmark	278.3	3.4	10.8	30.7	38.0	14.9	1.7	0.4
8	Slovakia	275.8	3.5	10.3	32.2	41.1	11.8	0.8	0.3
9	Czech	275.7	1.7	***11.1***	***34.7***	40.4	10.6	0.9	0.6
10	Austria	275.0	3.4	10.9	33.1	37.2	12.5	1.1	1.8
	OECD 平均	268.7	5.0	14.0	33.0	34.4	11.4	1.1	1.2

III. IT を活用した問題解決能力

No.		レベル 1 未満	レベル 1	レベル 2	レベル 3	IT 利用経験なし	辞退	不適合	Missing
1	Sweden	13.1	30.8	***35.2***	***8.8***	1.6	5.7	4.8	0.1
2	Norway	11.4	31.8	34.9	6.1	1.6	6.7	5.2	2.2
3	Netherlands	12.5	32.6	34.3	7.3	3.0	4.5	3.7	2.3
4	Finland	11.0	28.9	33.2	8.4	3.5	9.7	5.2	0.1
5	Denmark	13.9	32.9	32.3	6.3	2.4	6.4	5.3	0.4
6	Australia	9.2	28.9	31.8	6.2	4.0	13.7	3.5	2.7
7	Canada	14.8	30.0	29.4	7.1	4.5	6.3	5.9	1.9
8	England	***15.1***	***33.8***	29.3	5.7	4.1	4.6	5.8	1.6
9	Germany	14.4	30.5	29.2	6.8	7.9	6.1	3.7	1.5
10	Belgium	14.8	29.8	28.7	5.8	7.4	4.7	3.5	5.2
	・ ・ ・								
14	日本	7.6	19.7	26.3	8.3	***10.2***	***15.9***	***10.7***	1.3
	OECD 平均	12.3	29.4	28.2	5.8	9.3	10.2	4.9	1.5

[OECD, 2013c]

このような事実から，年代を問わず，産業形態の変化に人材が対応していかなくなるのではないだろうかという懸念が生じる。図 3-6 は，1980 年以降の OECD 加盟国での産業形態の変化（就業者数割合）を示している。多くの国で，減少傾向にあるのは第二次産業である製造業であり，高次産業（サービス，知的財産等）への遷移が続いている [OECD, 2013c]。このような状況において求められる，高度な情報処理能力をこの PIAAC では評価し，各国の教育政策への反映が勧められている。サービス業全体の割合が年々増すごとに，IT の利活用を伴った業種（特に企画提案，知識提供，課題解決型）に必要とされる能力は，今後日本の教育において適切な対応が求められる。4.2 キーコンピテンシーにて詳細に触れる。

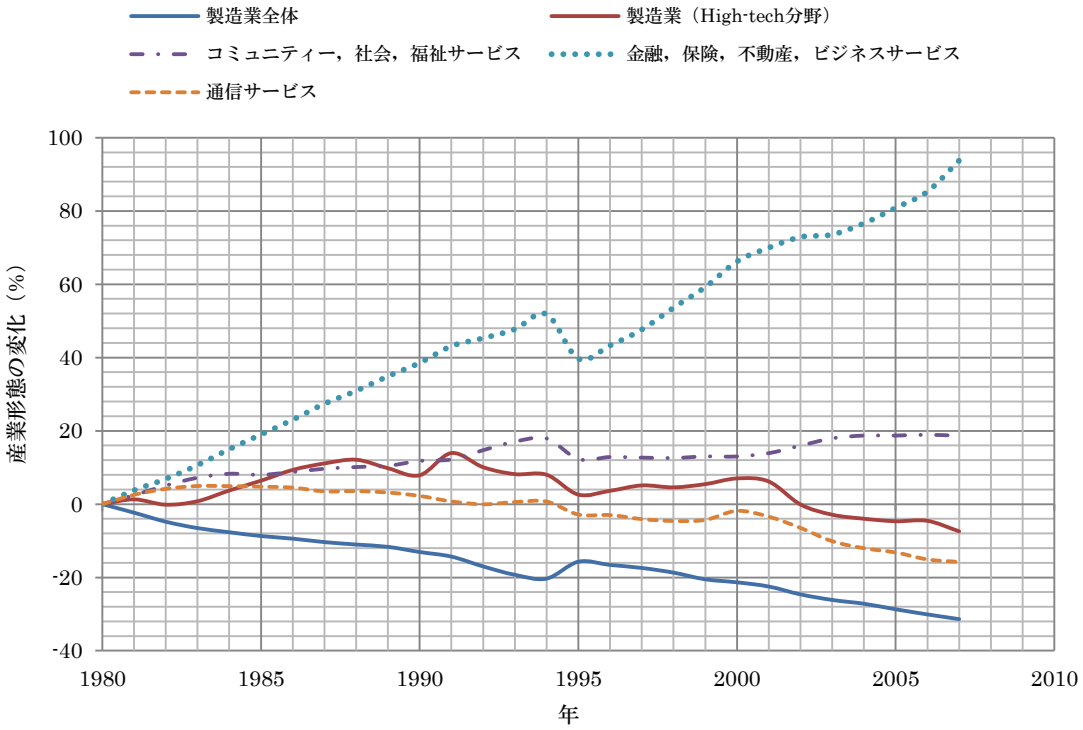


図 3-6: OECD 加盟国での産業形態の変化（就業者数割合）

[OECD, 2013c]

参考までに，図 3-7 は，現在の OECD 各国の産業分布と業種分布（ともに就業者数割合）を示している。社会が成熟し，より大きな富を生み出そうとする過程で，産業は常に高次化の方向に進む。この変化を教育が後追いするのではなく，能動的に，そこから輩出される人材のありようを予測し，それに教育を適合させていかなければならない。

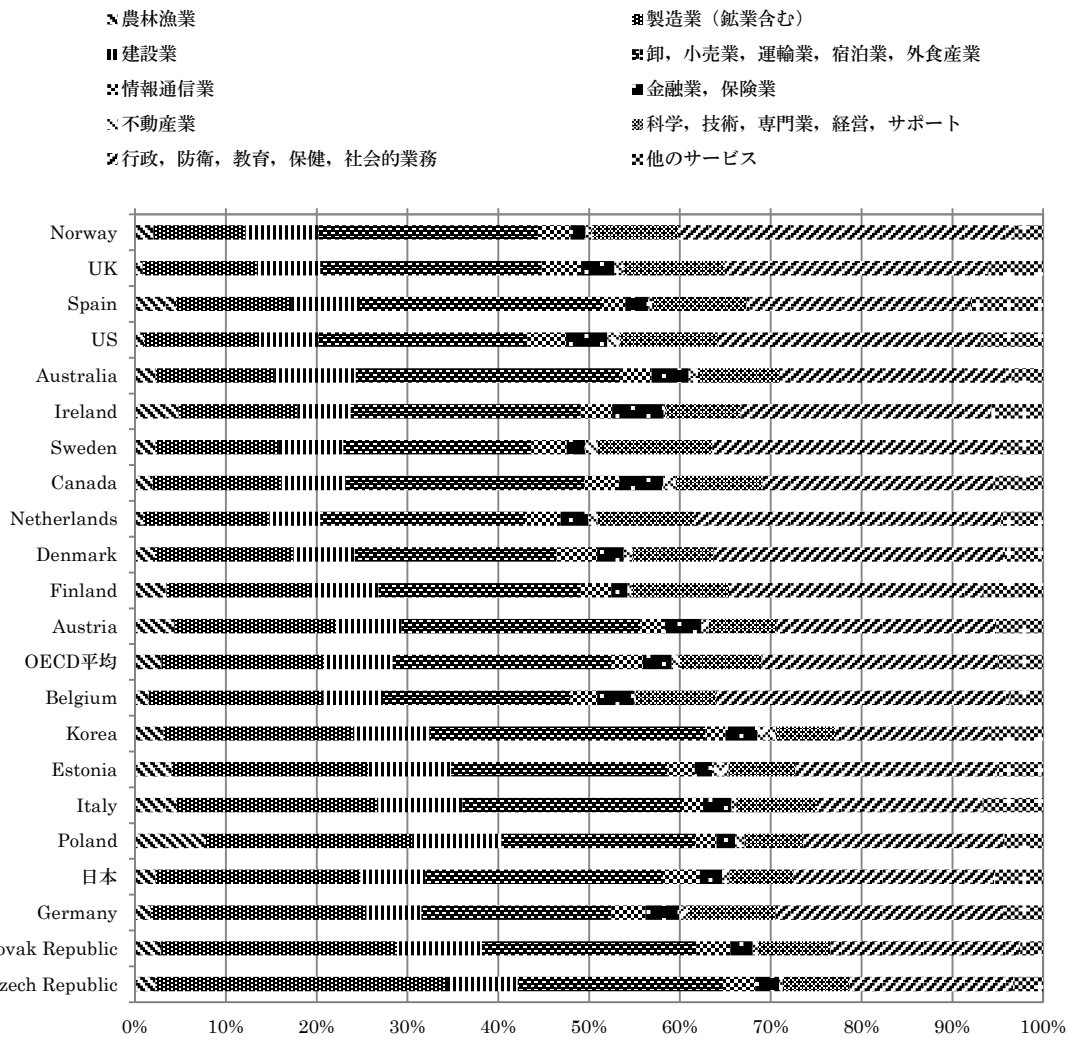


図 3-7: OECD 各国の産業分布と業種分布（就業者数割合）

[OECD, 2013c]

3.4　教育の質と国際学力調査の相関性

上記 PISA および TIMSS において，教科の内容はもとより，生徒の科学的認識，推論や知識の活用に関し，先進各国との比較から日本は高水準を維持していることが伺える。ただし，学校で生徒が教わる科学の知識と，実社会，生活における現象を理解するために必要な知識との隔たりがあり，これらを関連付けて教えることは教員にとって課題であるといわれる［小倉，2012］。また，常に変化し発展し続ける実社会，生活の中の現象を科学的な見方や考え方で捉えられるようになることは，生徒が将来，社会の中で生活し活躍していくための科学技術の智［北原, 2008］として必要な要素となる。

教育は，付加価値を伴うアウトプットを貨幣的単位で測定することができないノンマーケットセクターと位置付けられるということは前述の通りである。PISA や TIMSS が評価の対象としているのは，このような教育から生産される製品（人材）の価値を，「試験（Examination）」という形式により学力から測定する試みであると捉えられる。しかしながら，生徒が将来労働力として社会で生産活動に従事した際に生み出される実質の価値を測定することは困難であるから，この手法は教育から得られるアウトプットの価値の一部を評価しているに過ぎないことになる。

本項では，教育の質というものの評価について，異なる視点を導入したい。KAM カスタムカードに記載された「教育パフォーマンス」では，数学・科学教育の質が評価項目となっている。この項目は，世界経済フォーラム（World Economic Forum）が毎年発行している Global Competitiveness Report からの引用であり，世界中の産業界から合計 14,000 程度（一国当たり 100 程度）のサーベイシートを回収し，集計評価がなされた結果である。各国の競争力を比較するために，以下の 12 のピラーが用意され，数学・科学教育の質を含めた計 111 の評価項目によって構成される [World Economic Forum, 2012]。

表 3-6: Global Competitiveness Report – 評価項目（全 12 ピラー）

ピラー1：社会制度	ピラー7：労働市場効率
ピラー2：インフラ	ピラー8：金融市場発展
ピラー3：マクロ経済環境	ピラー9：テクノロジー
ピラー4：保健・初等教育	ピラー10：市場サイズ
ピラー5：教育・職業訓練	ピラー11：ビジネス
ピラー6：製品市場効率	ピラー12：イノベーション

[World Economic Forum, 2012]

ここでの関心の対象は，ピラー5 の教育・職業訓練である。日本の調査結果を次に示したい。教育制度の質に関し，1 位スイス（6.0 ポイント），2 位フィンランド（5.8 ポイント），3 位シンガポール（5.8 ポイント）という順にならび，日本は参加 144 カ国中 43 位という結果である。また，数学・科学教育の質については，1 位シンガポール（6.3 ポイント），2 位フィンランド（6.2 ポイント），3 位ベルギー（6.2 ポイント）という順に

ならび，日本は参加 144 カ国中 27 位であった [World Economic Forum, 2012]。

表 3-7: ピラー5 教育・職業訓練評価（日本）

教育・職業訓練, 2011-2012	評価	順位／参加 144 カ国
高等教育就学率	59.7 %	36
教育制度の質	4.2 / 7	43
数学・科学教育の質	***4.8 / 7***	***27***
マネージメント教育の質	4.1 / 7	80
学校のインターネット接続	4.9 / 7	43
研究と訓練サービス	5.5 / 7	12
教員訓練の程度	5.3 / 7	5

[World Economic Forum, 2012]

PISA や TIMSS は，世界共通の学力調査を通じ，生徒自身の能力を測定，評価することで，教育，学習環境の質向上に役立てる側面を持つ。しかしながら，そこから生徒の能力が，実際に産業界のニーズに合致しているかを読み取ることはできないことから，Global Competitiveness Report の「数学・科学教育の質」に関する評価は，教育と産業の接続性を読み取るための一助となる。数学・科学教育の質と PISA スコア両者の相関性を図 3-8 に示す。同程度の PISA スコアを持つ国，地域（カナダ，ニュージーランド，台湾等）と比較し，日本は数学・科学教育の質が低いという評価を受けていることが分かる。言い換えると，現在の学力を維持しつつも，産業界のニーズを取り入れることで，教育の有用性や生産性向上への寄与といった観点から，その重要性の認識がさらに高まっていくと思われる。

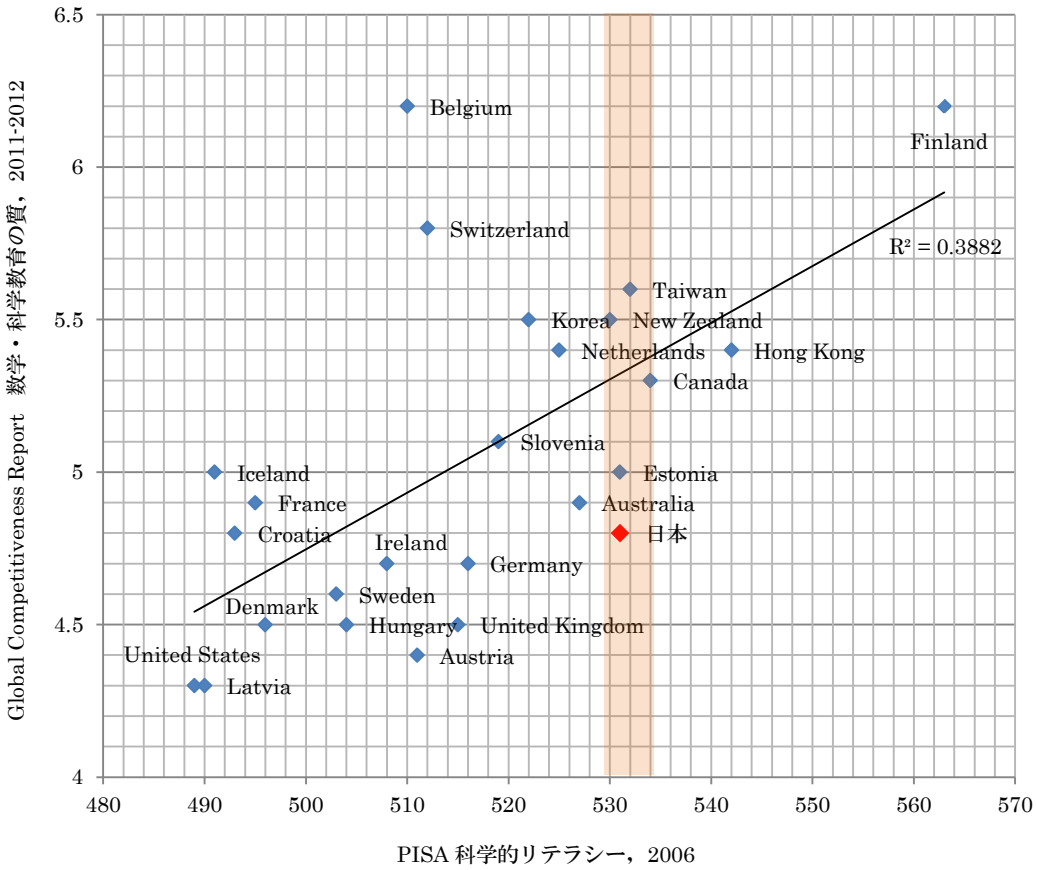


図 3-8: GCR「教育の質」と PISA「科学的リテラシー」の相関性

[World Economic Forum, 2012] [OECD, 2007]を基に筆者にて編成

以上本章にて調査なされた，社会的背景と教育，経済，産業といった様々な側面からの指標を考慮し，次章では，科学コミュニケーションや 21 世紀の課題の活用，そして情報通信技術の教育への適用といった，より具体性を持った内容を示していく。

第2章

教育リソースの投入と活用

－ 21 世紀の課題とデジタルセンサ －

4 節 － 科学コミュニケーション

5 節 － 教育と情報通信技術（ICT）

知識創造を伴う学習展開を開発するために，科学コミュニケーションに関わる概念を導入する。まず，コミュニケーションのきっかけを開発教育で多用されるファシリテーション手法によって作り上げ，生徒が科学を取り扱うことの意義を見い出せるように，自身の見方，考え方を臆することなく表現し，グループ内でそれを共有する環境を設定する。学習を進める上で，専門的知識の獲得よりも，むしろ表面に現れることのない能力の獲得を促すために，ここではキーコンピテンシーとして，「創造性・イノベーションスキル」，「協働性・コミュニケーションスキル」，「メディア・情報リテラシー」，「科学的スキル」を掲げる。このようなコンピテンシーを養うための学習展開のために，大きな概念（Big Idea）として機能する「21 世紀の課題」を用いる。それとともに，仕事形態が変容しつつある現況に適した課題解決能力の向上を図るために，各方面で一定の活用効果が報告されている情報端末とデジタルセンサの組み合わせを図る。これは，科学実験を創造性を養う場として運用するためのツールとして機能する。

4 科学コミュニケーション

科学コミュニケーションとは，科学と社会とのつながりを双方向のコミュニケーションによって互いに深め合うことで，多様な意見を踏まえた合意形成を図り，協働して今日の社会的な課題を解決していく活動理念であるといわれる。現代社会では，「社会の文脈（Social Context）」と「個人の文脈（Personal Context）」の主に 2 つの文脈が存在し，次のように定義することができる [縣, 2012]。

- 社会の文脈：
  市民一人一人が科学に関心を持ちながらその本質を理解し，社会がかかえる課題に主体的に関与し，判断し，実行していくこと
- 個人の文脈：
  科学は，利便性や経済発展のためのみではなく，市民同士または市民と専門家が科学を通じてつながっていくことで，精神的に豊かになること

これら文脈に基づき，多様な市民が情報や考え方を公表することで，新しい考え方に気づき，発言する機会が生まれる。また，異質なものと出会いその存在を認めることで，複雑な相互作用が起こり，新しい物が生まれてくる可能性がある [縣, 2012]。科学コミュニケーションの最終的な目標としては，高度な科学技術に支えられた現代社会に生きる市民が，科学という論理的，客観的な考え方をベースに持つことで，より豊かな社会を実現していくこととされる [井上, 2012]。

4.1 科学コミュニケーションの展開

科学的なコミュニケーションのきっかけは，自身の見方，考え方を発信し，共有することから始まる。発信する方法としては，プレゼンテーション，ニュースレター，雑誌のコラム等の媒体があるが，現在ではインターネットやソーシャルメディアを用いた発信も多方面で活発に行われている。いずれの方法においても，いかに「視覚化」するかが重要であり，それによって受益者（ステークホルダー）の参加形態や意識も異なってくる。このようなきっかけを通じ，社会の課題に対する個人の意思決定，地域社会で

の合意形成の機会は増し，その中で個々人が独自に考え，意見を持ち，知的に議論することが望まれる［高橋，2012］。このためには，実社会において，多様な背景を持った人間間や異なる年齢間においても，自身の見方，考え方を論理的に主張し，意思疎通できることが欠かせない。

ここでは，視覚化，合意形成，問題分析に取り組む上で有効な手段として活用される，ファシリテーションおよびKJ法を導入する。両方において役割を果たすファシリテータは，ステークホルダー（受益者，もしくは生徒）が意見や経験，情報を出し合い，議論を深め，新たな気づきや学びが生まれるような環境を整える。ファシリテータを中心として学びの場が成り立つというよりも，ファシリテータがいることで，生徒が課題に取り組み，それを解決していくといった能動的な学びを生むことが望ましい。これら2つの手法の最大の特徴は，生徒全員のすべての考えが尊重され，グループ内で独創的に問題解決の方法を見い出していくことである［前林，2010］。

開発教育，持続可能な発展のための教育（ESD）

社会開発の中で，特に教育は人間開発（Human Development）の側面を持つ。国連開発計画（UNDP）によれば，人間開発とは「国家の富（人的資本）となる市民が，各自の可能性を十全に開花させ，それぞれの必要性と関心に応じて，生産的かつ創造的な人生を開拓できるような環境を創出すること」と定義される［UNDP, 2011］。この人間開発を進める上で3つの領域が存在する。1つ目は「民主的ガバナンス」，2つ目は「危機予防と復興」，そして3つ目は本研究で注力する「環境と持続可能な開発」となる。

持続可能な開発は，「将来の世代の欲求を満たしつつ，現在の世代の欲求も同時に満足させることができる開発」とされ，1992年に，環境分野での国際的な取り組みに関する行動計画である「アジェンダ21」が採択，さらに2002年には，「持続可能な開発に関するヨハネスブルグ宣言」が採択された。その際，水（Water），エネルギー（Energy），健康（Health），農業（Agriculture），生物多様性（Biodiversity）といった5分野において，緊急の課題として，各国が取り組みを進めることが求められた［外務省，2005］。本研究では，その後日本で認識されるようになった，持続可能な発展のための教育（ESD）を，価値創生を促すための科学コミュニケーション活動の中心に据えて進めていくことになる。

ファシリテーション

開発教育に用いられるファシリテーションは，受益者間の地位，立場，生い立ち等の違いから格差が生じ，弱者の声が地域の開発や発展に反映されない状況を改善する役割を持つ。つまり，本来貴重であるはずのグループやコミュニティ等の受益者全体の見方，考え方が，政策判断や決定に取り入れられることなく，かつ狭くなりがちであった選択肢を，可能な限り広げるような機能を持っている。グループやコミュニティにおいては，促進者もしくは調整役としてファシリテータを配置し，このようなファシリテーションを成り立たせる。生徒の見方，考え方（アイデア）の視覚化は，次の基本的なルール [FASiD, 2007]に基づいて実施されることが望ましい。

1） 自分のアイデアを自分でカードに書く
2） 1 枚のカードには 1 つのアイデアを書く
3） 簡潔な文章で表現する
4） 議論の前にまずカードを書く
5） 誰が書いたカードかは問わない
6） カードを外す場合はコンセンサスをとる

本研究で提案される学習展開においては，次の 2 つの活用の場が設けられる。

1 つ目は，メディアから得られた情報を簡潔な文章でカードに書き取り，グループ内で KJ 法により分析を行う。KJ 法は，情報，データ，考えをカードに記述し，そのカードの内容によりカテゴリーに分別し，図解していく手法である。ここでのグルーピングの際には，例えば，科学的な現象，社会への影響，人間の取るべき行動といった分類に分けることができる。

2 つ目は，実験を始めるにあたり，どのような手段を用いるかということに対する自身のアイデアをカードに書き出し，グループ内での議論を経て，それを並べかえて実験の手順を構築したり，必要があれば仮説や予想も書き足していく。実験を進めるために，どのように実験器具を組み立てていけば良いのかが分かる外観図を適宜入れることとする。

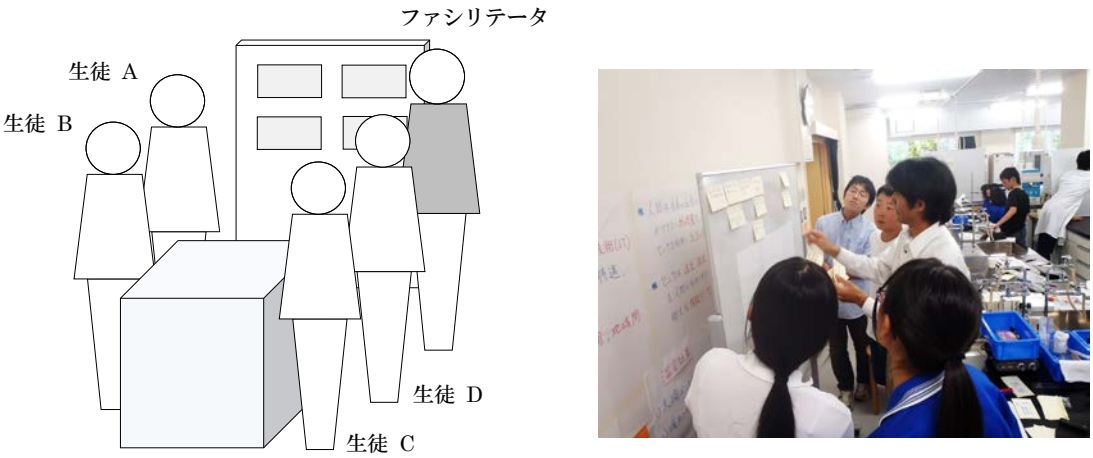


図 4–1: ファシリテーションとアイデアの視覚化作業

4.2　キーコンピテンシー

社会，産業構造は，工業から情報基盤にそのウェイトが移行しつつあり，市民の働き方，考え方，そして仕事で用いるツールも含め，50 年前のものとは比較できないほどの変化が生じている。そして，過去，農業から工業基盤への変化の中で起きた教育方法の抜本的な改革のように，現在の情報基盤への変化の中で，再びその改革が必要とされている [Griffin, et al., 2012]。図 4-2 は，1960 年以降の産業界における仕事形態の変化を示す。より抽象的で具体性の欠く仕事（Abstract task）の割合が年々増え続け，一方で，繰り返し作業を伴う機械的な仕事（Routine task）やマニュアル的な仕事（Manual task）の割合は減少し続けている [Autor, et al., 2003]。より抽象的な仕事とは，ある特定された方法や手段が提示されず，労働者自らそれを見つけ出し，求められる結果に結びつけることを含む仕事を意味する。これは，課題発見型，課題解決型の仕事であるともいえ，自身が何をするかを指定されているマニュアル的な仕事とは本質的に異なる。

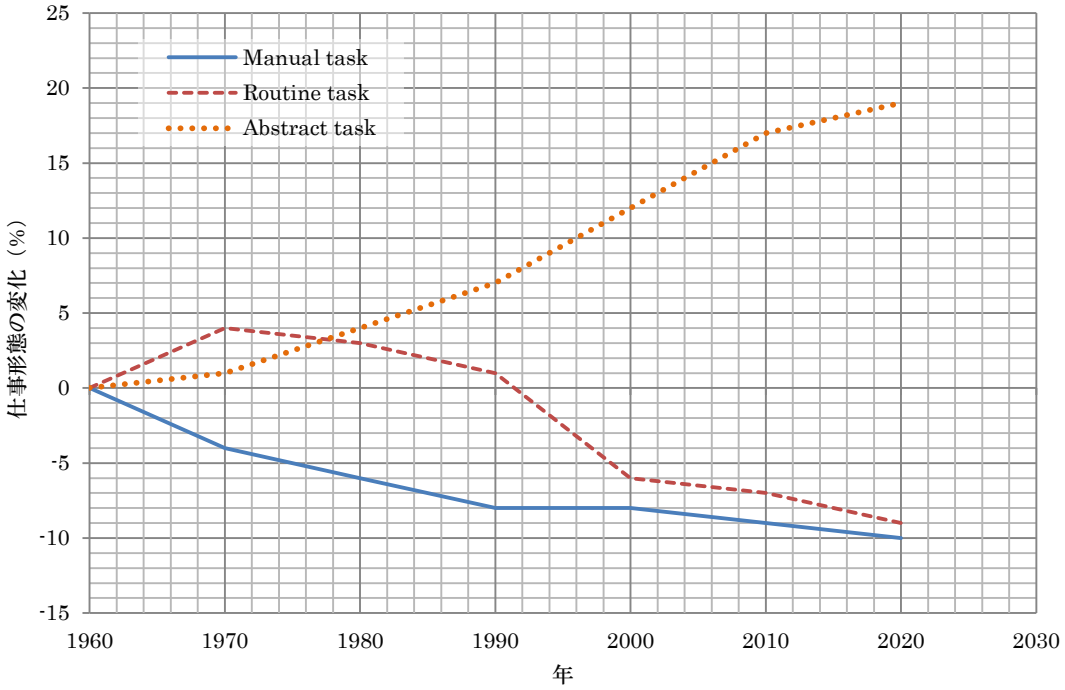


図 4-2: 1960 年以降の仕事形態の変化

[Autor, et al., 2003]

このような変化を伴う社会や仕事環境に，常に適応する人材を輩出し続けることが求められる教育において，生徒が身に付けるべき主要な能力をキーコンピテンシーとして位置付け，筆者はそれを次のように定義したい（Definition and Selection of Key Competencies [OECD, 2005]参考）。

キーコンピテンシーとは，「生徒が，単なる知識や技能の習得にとどまらず，社会，経済，産業，環境等の様々な文脈の中で，その複雑性や相互作用性を理解し，世界，自国，地域に影響を及ぼす課題を解決するために，習得した知識を活用し，また新しい知識を創造し，これに対応することができる能力」

本研究では，このコンピテンシーを 1）創造性・イノベーションスキル，2）協働性・コミュニケーションスキル，3）メディア・情報リテラシー，4）科学的スキルの 4 つのカテゴリーで構成する。以下表 4-1～4-3 に個々のカテゴリーの概要と一覧を示すとともに，それらコンピテンシーを評価するためのルーブリック評価表を併せて記す。

表 4-1: キーコンピテンシー 概要

1）創造性・イノベーションスキル：
他人の意見を尊重しながら，自ら率先してアイデアを創造し，問題解決につなげる能力

2）協働性・コミュニケーションスキル：
多様性のあるアイデアに対し，偏見を持たずそれを共有し，異なる年齢間や背景をもった参加者と効果的にコミュニケーションをとる能力

3）メディア・情報リテラシー：
メディアから得られる情報の意図や影響を批判的，多面的に読み取る能力

4）科学的スキル：
予備知識や仮説を基にした実験シナリオを描くことができ，それを実行する能力

表 4-2: キーコンピテンシーー一覧

1） 創造性・イノベーションスキル

- ブレインストーミング等の幅広い創造プロセスを用いることができる。
- 付加的で抜本的，また新しく価値のあるアイデアを創り出すことができる。
- 生み出された新しいアイデアを最大限に活用するために，自身でそれを精錬，分析，評価することができる。
- 生み出された新しいアイデアを論理的に組立て，他人に対し実演し，説明することができる。
- 新しく多様性のあるアイデアに対し，偏見を持たず，積極的に取り込み，次の学習にフィードバックすることができる。
- 独創性と創作力に富むとともに，新しいアイデアを実社会に適用する場合の限界を見い出すことができる。
- 失敗を次へのチャンスと捉え，創造性と革新性は，1 つ 1 つの小さな成功や失敗の繰り返しにより成り立っていることを認知できる。
- 創造的なアイデアをイノベーションにつなげるために，具体的でかつ利用可能なアイデアに作り上げることができる。

2） 協働性・コミュニケーションスキル

- 口頭，筆記，プレゼンテーション等の手法で，自身の考えと新しいアイデアを明確に表現することができる。
- 知識，価値，態度，意図等を理解するために適切に聞き取ることができる。
- 他人への伝達，説明，動機付け，説得等の幅広い目的のために，双方向のコミュニケーションを取ることができる。
- 多様なメディアや技術を用い，またそれらを効果的に使用する方法とそこから及ぼされる影響を判断することができる。
- 異なる年齢やステークホルダが参加する多様な環境において，効果的にコミュニケーションを取ることができる。
- 多様なグループ形態に応じて，互いに礼儀正しく協働作業をすることができる。
- 共通の目標を達成するために，柔軟性や積極性を持つことで，必要な妥協点を見い出すことができる。
- 協働作業のための責任性を持ち，グループ内の個々人の貢献に価値を見い出すことができる。

3） メディア・情報リテラシー

- 効率的かつ効果的に必要とする情報源にたどり着くことができる。
- 得られた情報を批判的にその適合性を評価することができる。
- 手中の課題や問題を解決するために，情報を正確にかつ創造的に使用することができる。
- 様々な情報源から得られた情報の系統性を把握し，その流れを把握することができる。
- 情報へのアクセスとICTの利用を取り巻く倫理性/合法性に関する基本的な理解を持つことができる。
- メディア作成のための，最も適当なツールの使用法とその特性を理解し，活用することができる。
- 個々人の捉え方や解釈が異なることを理解し，多様で多文化の環境において，最も適切な表現を用いることができる。
- 調査，整理，評価，意思疎通のためにICTをツールとして活用することができる。
- コンピュータ，PDA，メディアプレーヤ，センサといったデジタルデバイスをコミュニケーションツールとして利用することができる。

4） 科学的スキル

- 帰納法や演繹法等の推論方法を状況に応じて適用することができる。
- 複雑な問題の中で，個々の小さな問題が互いにどのように絡み合っているかを分析できる。
- 調査や問題提起，仮説，設計，収集，分析，解釈といった段階を効果的に実行することができる。
- 情報やデータを解釈し，最良の結果を基に結論を導くことができる。
- 異なる馴染みのない問題であっても，過去の手法や新しい独特な手法を用いてそれを解決することができる。
- より良い解決策を導くために，様々な見方を明確にするための疑問を持ち，また有意な質問をすることができる。

[Griffin, et al., 2012] [OECD, 2005]を参考に筆者にて編成

表 4-3: キーコンピテンシー ルーブリック評価表

カテゴリー	1 ～ 2 点	3 ～ 4 点	5 ～ 6点
1）創造性とイノベーションスキル	□ 新しく多様性のあるアイデアに対し，先入観をもって捉えてしまい，次の学習にうまくフィードバックすることができない。	□ 新しく多様性のあるアイデアに対し，自身の考えに照らし合わして捉えることができるものの，次の学習にフィードバックすることができない。	□ 新しく多様性のあるアイデアに対し，偏見を持たず，積極的に取り込み，それを評価し，次の学習にフィードバックすることができる。
	□ 大きな挑戦的課題の中で，個々の小さな問題を，それぞれ個別に存在する狭義の問題として考えてしまう。	□ 大きな挑戦的課題の中で，個々の小さな問題が互い絡み合い影響しあっていることを認識している。	□ 大きな挑戦的課題の中で，個々の小さな問題が互いにどのように絡み合い，その課題を構成しているのか，読み取ることができる。
2）協働性とコミュニケーションスキル	□ 口頭，筆記，プレゼンテーション等を用い，自身の考えと新しいアイデアを限定的ではあるものの僅かながら表現することができる。	□ 口頭，筆記，プレゼンテーション等を用い，自身の考えと新しいアイデアを他人がおおよそ理解できる程度に表現することができる。	□ 口頭，筆記，プレゼンテーション等を用い，自身の考えと新しいアイデアを明確に幅広く表現することができる。
	□ 異なる年齢やステークホルダが参加する多様な環境において，最低限のコミュニケーションを取ることができる。	□ 異なる年齢やステークホルダが参加する多様な環境において，柔軟にコミュニケーションを取ることができる。	□ 異なる年齢やステークホルダが参加する多様な環境において，率先しかつ効果的にコミュニケーションを取ることができる。
	□ 他人の意見を単純に受け入れながら，それを自分のアイデアとして利用し，問題解決につなげることができる。	□ 他人の意見に倣いながらも，新しいアイデアを自ら創造し，それを問題解決につなげることができる。	□ 他人の意見を聞き入れ尊重しながら，自ら率先して新しいアイデアを創造し，それを問題解決につなげることができる。
	□ 様々な見方を明確にし，より良い解決策を導くための質問をすることができるが，単純に自身の疑問を解決するにとどまる。	□ 様々な見方を明確にし，より良い解決策を導くために，限定的ではあるが有益な質問をすることができる。	□ 様々な見方を明確にし，より良い解決策を導くために，自身のみでなくグループ全体にとって有益な質問をすることができる。

3) メディア・情報リテラシー	□ 多様なメディアやICTを利用した時，そこから得られる情報を常に正しいものとして単純に受け入れ，判断につなげてしまう。	□ 多様なメディアやICTを利用した時，そこから得られる情報を根拠を持って正しいものとして受け入れ，判断につなげる。	□ 多様なメディアやICTを利用した時，そこから得られる情報の意図や影響を批判的に読み取り，良否判断することができる。
	□ メディアやICTを通じ得られた情報を取り巻く倫理性/合法性に関し理解が乏しく，制御をかけることができない。	□ メディアやICTを通じ得られた情報を取り巻く倫理性/合法性に関し理解している。	□ メディアやICTを通じ得られた情報を取り巻く倫理性/合法性に関し理解し，自己制御をかけることができる。
4) 科学的スキル	□ 目的を達成するために，仮説や予想を立てずに実験シナリオを描こうと試み，また描いたシナリオを実行に移すことができない。	□ 生徒は，目的を達成するために，予備知識や仮説，予想を基にした実験シナリオを描くことができものの，それを実行に移すことができない。	□ 生徒は，目的を達成するために，予備知識や仮説，予想を基にした実験シナリオを描くことができ，それを実行に移すことができる。
	□ 測定結果を実社会での応用例に結びつけ，自分なりの結論を導くことができず，また新たな課題を見つけるための姿勢を持たない。	□ 測定結果を実社会での応用例に結びつけ，自分なりの結論を導くことができるものの，新たな課題を見つけるための姿勢を持たない。	□ 測定結果を実社会での応用例に結びつけ，自分なりの結論を導くことができ，そこから新たな課題を見つけ，それを解決する姿勢を持つ。

[Griffin, et al., 2012] [OECD, 2005]を参考に筆者にて編成

4.3 21 世紀の課題 - 教科横断のための大きな概念

ESD を念頭に，教科横断を成り立たせ課題解決型の学習を導くために，本研究では，グローバリゼーション，気候変動，食料供給，干害，越境汚染，水資源，情報化革命，エネルギー，国家の安全保障，過疎化，人口移動，貧困，鳥インフルエンザ，政治紛争といった多様な社会的テーマを扱うことを目指した。それらの総称として，「21 世紀の課題（21st Century Challenges）」を設定し，生徒はこの課題に関連したトピックを学ぶ過程で，動機付けと領域間のつなぎ合わせ（クロスカリキュラム）を行う。これらは，21 世紀に生きる世代が直面するであろう，いわゆる「解決困難な課題」の典型例として挙げられる。

21 世紀の課題は，それ自身の解決を求めるものではなく，個別の分離した事実やスキルをつなぎ合わせ意味を持たせるための，大きな概念（Big Idea） [Wiggins & McTighe, 2007]として機能する。これにより，生徒は，地球規模の課題がどのような原因から生じ，どのように社会の文脈の中で地域生活に影響を与えているのかを関連付けながら学習していく。すなわち，物理，化学，生物，地学といった個々の科学的専門性を高めることを意図しているのではなく，教科書を含めメディアから得られた知識，情報を活用するために，このような課題や事実と結びつけ，あらゆる領域を横断的に学習できるよう環境を整える。これにより，より知的で実際に即した能力（キーコンピテンシー）を習得し，自己責任性や社会責任性を身に付けることが可能になると考える。

現在の学校教育の教科は，それぞれの教科が独立して存在し，それは教員養成系大学・学部の講座編成にまで及んでいる。しかしながら，実際には自然科学，社会科学系として横断的なつながりを持つことができる教科は，理科を始め，社会，技術，家政，保健体育，数学等様々である。事実，社会生活の多様化に伴い，各教科の学習指導要領に記載された学習範囲のみではテーマを扱いきれず，断片的な紹介，導入にとどまる傾向がある。また，エネルギーや持続可能な社会といった代表例があるように，同じテーマをいくつかの教科で重複して扱う，もしくはその実施時期やアプローチ等，教科間の連携がとられていない状況も見受けられる。図 4-3 に理科，社会，技術，家政といった教科を例に，その横断的思考を示す。

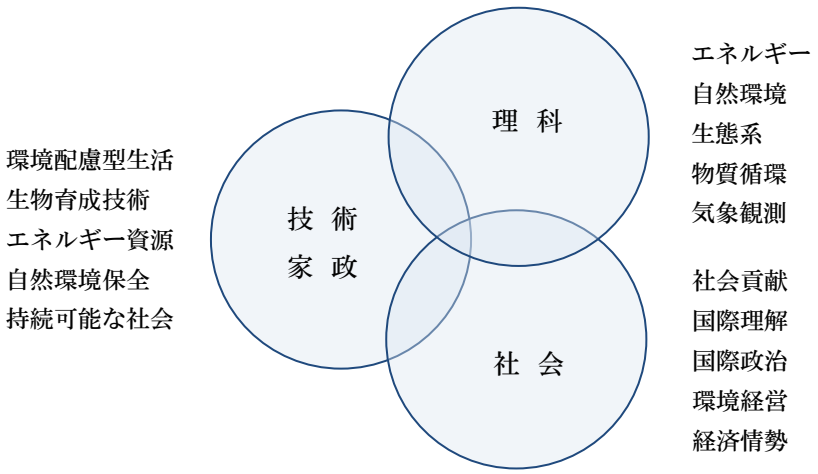


図 4-3: 学校教育の教科間の横断的思考（理科，社会，技術，家政）

現代社会に存在する課題はその複雑さ故に，ある 1 つの教科では解決することができないことはいうまでもなく，したがって，21 世紀の課題はやや漠然としながらも，社会性を持った文脈を提供するための学習テーマと位置付け，上記独立した教科の学問，専門領域間の連携と横断性を強化し，それを深める上でも役に立つ。このような取り組みは，学校教育における総合的な学習や生涯学習，社会教育といった場面での活用につながることが望まれる。科学実験に関連付けることができる 21 世紀の課題の一例は以下の通りである。

表 4-4: 21 世紀の課題と関連単元例

21世紀の課題	中学校指導要領（理科）内の関連単元例
地球温暖化・気候変動	・ 物質の溶解，溶解度と再結晶 ・ 状態変化と熱，融点と沸点 ・ 水溶液の電気伝導性，原子の成り立ちとイオン化学変化と電池 ・ 気象観測
砂漠化・干ばつ	・ 様々なエネルギーとその変換，エネルギー資源 ・ 物質の分解，原子，分子 ・ 状態変化と熱，物質の融点と沸点 ・ 花のつくりと働き，葉，茎，根のつくりと働き ・ 生物の観察 ・ 霧や雲の発生，前線の通過と天気の変化 ・ 日本の天気と特徴，大気の動きと影響
酸性雨・光化学スモッグ	・ 仕事とエネルギー，力学的エネルギーの保存 ・ 様々なエネルギーとその変換，エネルギー資源 ・ 物質のすがた，身の回りの物質とその性質，気体の発生と性質 ・ 化合，酸化と還元，化学変化と熱 ・ 酸/アルカリ，中和と塩
エネルギー供給	・ 回路と電流/電圧，電流/電圧と抵抗，電気とそのエネルギー ・ 静電気と電流 ・ 電流がつくる磁界，磁界中の電流が受ける力，電磁誘導と発電 ・ 仕事とエネルギー，力学的エネルギーの保存 ・ 様々なエネルギーとその変換，エネルギー資源 ・ 水溶液の電気伝導性，原子の成り立ちとイオン ・ 化学変化と電池 ・ 自然放射線，自然エネルギー

5 教育と情報通信技術（ICT）

教育への情報通信技術（ICT）の導入は，コンピュータやインターネットの普及率を基に判断すれば，先進国のみならず，新興国においても着実に進んでいる。ICT の適切な利用によって，教育の機会や質，それら格差は改善し，教育機関は生徒の知識や技能を高めることができる。また，創造性や批判的思考を養い，生徒自身がどのように学ぶのかを自己認識することにつながるとされる [UNESCO, 2003]。そして，ICT は，教育に変化をもたらし，新しい教授法への道を開くとともに，複雑性を伴った生徒の能力に，より沿った形の授業を可能にするといわれる [Webber, 2003] [Lockee, 2002]。一方で，ICT を教育の場で活用するためには，学校の監督者のみの努力では成しえず，教育者，学習者，社会，そして企業の 4 つの観点から，次に示される項目に関わる責務（Imperative）が問われている [Sapianchai & James, 2005]。

1） 教育者の責務

学習者の学び，教育制度，社会に影響を与える技術的変化や時勢に精通すること

2） 学習者（生徒）の責務

教育課程卒業後の仕事や活動において機会を奪われることのないよう，必要な技術を取り入れた教育を受けること

3） 社会の責務

技術発展を十分に活用するために，知識，技能ある生徒，市民を育てること

4） 企業の責務

学習環境の改善，学習者の能力向上を促すために，適切な技術を提供すること

本節では，このような背景を念頭に，教育，とりわけ科学教育において，ICT の導入に関わる基本的な調査とその活用法について考察したい。

5.1　学校教育とICT

教育におけるICTの統合は，生徒自身が学習方法について見極め，判断することができる環境において，最も効果的となりうる[MacDonald, 2008]ことから，生徒主体の学習形態へのシフトが求められていることが分かる。現代社会におけるICTの代表例としては，タブレット型情報端末，インターネット，その他あらゆる技術製品を制御するために周囲環境を測定するデジタルセンサ（以下，センサ）を挙げることができる。情報端末については，生徒自身が常日頃活用し，また，文部科学省の「教育の情報化」政策によって徐々に教育現場への浸透が見られる。学習指導要領に記載された，指導計画の作成に当たって配慮すべき事項によれば，次のような指針が示されている[文部科学省, 2008a]。

> 各教科等の指導に当たっては，生徒が情報モラルを身に付け，コンピュータや情報通信ネットワーク等の情報手段を適切かつ主体的，積極的に活用できるようにするための学習活動を充実するとともに，これらの情報手段に加え，視聴覚教材や教育機器等の教材，教具の適切な活用を図ること

ここから読み取れるように，情報，携帯端末の授業での活用やその使用形態は，あくまで各教育者の指導上の配慮によってなされるものという位置付けである。したがって，具体的な内容については個々の教育者が，生徒，保護者，社会，産業等，地域のニーズを汲み取り成り立たせることが望ましい形であるといえる。

5.2　デジタルセンサの導入

現代社会の多くの技術革新を支え，そのような発展し続ける社会環境を維持するために欠かすことのできないICT機器としてセンサの存在がある。人間は，生まれながらに五感という名のセンサ（感覚器官：視覚，聴覚，嗅覚，味覚，触覚）を備え，それらを用いて，自然界の現象や変化を捉え，状況判断や危機回避を行う能力を持っている。また，得られた情報から，将来起こりうる現象を予想したり，現状を改善したりする高度な知能と技能も兼ね備える。

人間は，自らの感覚では捉えることのできない，もしくは定量化することができない現象を捉えるために，電子デバイスとしての人工的なセンサを開発し，日々の生活の改善，そして近代の高度社会発展を成し遂げ，成長を続けている。センサの端的な定義としては「温度，圧力，流量，光，磁気等の物理量や，それらを検出する素子，または装置。さらに検出量を適切な信号に変換して計測系に入力する装置」とされる [広辞苑, 2008]。社会生活を支え，人間の感覚を補い，時にそれを超越するセンサの役割を考慮すれば，「人間が，科学的現象を体感し，より探求的になるために現代社会では欠かすことのできない，五感の延長線上にあるデバイス」，もしくはより簡略に「人間の体感領域を広げるためのデバイス」であると定義することができる（図 5-1）[Homma, et al., 2013]。

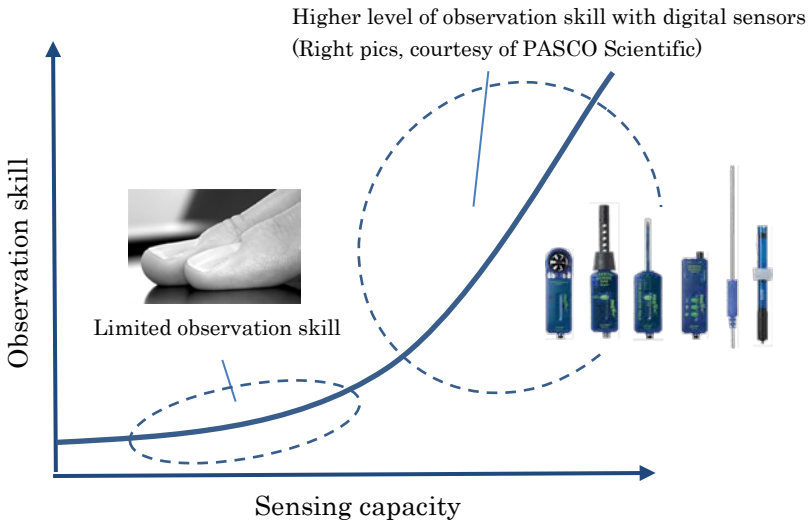


図 5-1: デジタルセンサによる体感領域の拡張（概念図）

食品，水産，農業，通信，建設，医療といった産業界の多種多様な業種において共通して活用されているのが，このセンサである（例えば，温度，pH，O_2，CO_2，電圧，電流，照度，湿度測定等）。このような機器を教育（特に科学教育）の場で適切に利用することによって，生徒に産業の多様な側面に関心を持ってもらうきっかけになるとともに，次項以降に示される科学的概念を獲得する上でも，その利点を挙げることができる。

活用に関わるいくつかの視点

学習指導要領（理科） [文部科学省, 2008e]に掲げられている「体感する」という理念は，生徒の五感のみでは感じることのできない現象を，センサを用いることでリアルタイムに採取し観察することによって，より充実した形で達成することができると考

えられる。人間の五感からの情報は，数十マイクロ秒というごくわずかな遅れを伴って脳に送られ，あくまで定性的に状況認知や判断に用いられる。センサを用いた場合，情報は，リアルタイムにスクリーン上に数値もしくはグラフとして表示され，人間の目を通して脳に送られる。つまり，五感とセンサとで，時々刻々と変化する現象を認知するまでの経路は異なるものの，現象を感じ取る（センシング）という意味において，このセンサは，五感を用いた体感する機能を補完，もしくは強化する役割を担っている。

従来より，実験中に生徒が現象を観察するタイミングと，グラフをプロットしその現象を認識するまで間に生じる時間的ギャップによって，生徒にとって両者が別々の存在であるかのように感じ取られてしまうことが問題視され，センサを利用することで，このようなギャップを最小にすることができるとされる [Barton, 1997]。また，生徒は測定を実施した後，データを表で記載し，計算し，グラフ化するといた複雑な処理を必要とせず，実験の計画，検証，解釈といった，より概念上重要な作業に時間を集中することができるといわれる [Rogers & Wild, 1994] [Newton, 2000] [Osborne & Hennessy, 2003]。

このように，センサを使用することによる利点が指摘されつつある，一方で，教育者側が，センサのような先進的な機器を教室で用いることにためらいを持つこと，また，従来から行われている実験から切り替えるには，操作上の問題，新たな指導方法の構築といった障壁も存在することが指摘されている [Newton, 2000] [Tan, et al., 2006]。また，端末のスクリーン上に自動的に数値化され，グラフがプロットされる情報は，生徒が批判的な思考に基づき，解釈していないのであれば，意味を持たないともされる [Rogers & Wild, 1994] [Newton, 1997]。

教育効果と実態

学校でのセンサの利用に関する調査研究は諸外国の取り組みが参考になる。管見の限り，これまで最も大規模かつ包括的に調査がなされた例は，アメリカの NAEP（National Assessment of Educational Progress – The Nation's Report Card: Science Highlights 2000）であると思われる。NAEP は，生徒の科学的知識と技能を評価するために，以下の項目に沿った測定を行う [National Center for Education Statistics, 2001]。

1） 知識そのものを持っているかどうか

2） その知識を活用する能力を持っているかどうか

3） 実験器具や手順，科学的，論理的思考を用いて，自然界に関する理解を深めているかどうか

2000 年に，アメリカの Grade4，8，12 における約 49,000 人の生徒を対象に同調査が実施された（それぞれ，日本の小学校 4 年生，中学校 2 年生および高等学校 3 年生に該当）。表 5-1 は，Grade8 の生徒が，科学の授業でどの程度コンピュータを利用し，それがスコアに関係しているかを示している。ワードプロセスや，シミュレーション，モデリングといった活用によって，わずかなポイントの優位が見られるものの，その差は顕著ではない。また，コンピュータを用いてデータ解析を行うことについては，それを実行したことによる有意差は見られなかった。

表 5-1: 科学授業における生徒（Grade8）のコンピュータ利用状況とスコアの関係

	1996 年調査			
生徒回答	Yes	スコア平均	No	スコア平均
ワードプロセスを使う	22 %	154	78 %	151
シミュレーション／モデリングを使う	25 %	155	75 %	151
データ解析，その他応用ソフトを使う	19 %	152	81 %	152

	2000 年調査			
生徒回答	Yes	スコア平均	No	スコア平均
ワードプロセスを使う	35 %	154	65 %	151
シミュレーション／モデリングを使う	23 %	155	77 %	151
データ解析，その他応用ソフトを使う	33 %	156	67 %	150

[National Center for Education Statistics, 2001]

表 5-2 に示されるように，Grade12 の生徒に対しては，毎月どの程度の頻度でセンサを利用しデータ採取をしたかという質問項目を設け，その結果と，知識および技能の

評価結果（スコア平均）の相関性を比較している。1 ヶ月のうち，1，2 回の頻度でセンサを利用した生徒は，全く利用しない生徒に対して，10 ポイントの優位が見られ，また，採取したデータを解析する工程を学習に取り入れた場合は，16 ポイントの優位が確認された。

表 5-2: 科学授業における生徒(Grade12)のコンピュータ利用状況とスコアの関係

	2000 年調査					
生徒回答	全く使わない	スコア平均	1 ヶ月に一度未満使う	スコア平均	*1 ヶ月に一度かそれ以上使う*	スコア平均
インターネットを使い，関連するデータや情報を入手する	45 %	148	13 %	158	9 %	155
インターネットを使い，他の生徒や科学者と実験や調査に関する情報交換をする	54 %	151	7 %	151	4 %	146
コンピュータに接続された実験器でデータ採取をする（センサの利用）	42 %	148	11 %	154	13 %	158
コンピュータを使い，採取したデータを解析する	44 %	147	11 %	157	11 %	163

[National Center for Education Statistics, 2001]

参考までに，Grade8 と Grade12 の生徒のスコア分布を表 5-3 に示す。

表 5-3: Grade8 と Grade12 のスコア取得割合

	スコア	Grade8	Grade12
Advanced	210 以上	4 %	2 %
Proficient	178 ～ 209	28 %	16 %
Basic	146 ～ 177	29 %	34 %
Below Basic	145 以下	39 %	47 %

[National Center for Education Statistics, 2001]

シンガポールにおいては，1997 年から 2002 年における「IT マスタープラン」のもと，中等教育およびジュニアカレッジのすべての実験室に，それぞれセンサおよびその

周辺機器が配備された。4 年後の 2006 年調査において，演示および実験の際にそれら機器を使用しているかとの質問に対し，67 %（394 人／593 人）の教員が使用したと回答した。逆の見方では，33 %の教員は全く使用していない，もしくは一度使用したがその後中止した，ということになるが，この背景に存在する理由として，次のような教員の意見が挙げられた [Tan, et al., 2006]。

- 生徒がセンサや周辺機器の操作方法を習得するのに時間を要する。
- 生徒にどのようにデータを採取し解析するのかを説明するのに時間を要する。
- 時間がないということよりも，まずシラバスの内容をすべてこなすことの方が大切である。
- 学校教育のシラバスや試験に組み込むことが非常に困難であり，実際的でない。
- 面倒であり，また信頼性が低い。準備や指導方法の修正にかかる時間が無駄である。
- 実験室に十分な情報端末がない。インターフェイスにデータを取り込んだとしても，やはり端末上で解析をしなければならないため。

多くは時間不足に関する理由であり，全体の 47 %を占め，機器の操作に関わる理由，カリキュラムへの取り込みに関わる理由は，それぞれ 35 %と 17 %であったとされる [Tan, et al., 2006]。

日本の学校におけるセンサの活用は，主に高等学校の物理領域から徐々に浸透しつつあり，高等学校 1 年生から 3 年生ならびに卒業生を対象にしたアンケート結果 [筒井, 他, 2010]が，その活用効果を示している。アンケートは 5 段階評価（強く思う＝5，普通＝3，全く思わない＝1）で評価され，「学習内容に興味が持てる（4.1～4.5）」「学習内容が理解しやすい（4.2～4.5）」「物理現象を考えるきっかけになる（3.6～4.3）」「グラフを見ても意味が分かりにくい（2.4）」「実験に時間がかかりすぎる（2.3～2.7）」「授業にできるだけ取り入れたほうが良い（3.9～4.2）」「自分自身で実験（コンピュータの操作を含む）をしたい（3.1～3.3）」という結果が出ている。

この他，大学に進学した学生（学部 1 年生，約 3,800 人）を対象とした物理領域における実態調査が実施されている [山崎, 他, 2011]。これによれば，高校生のときに，物理の授業でセンサを利用した生徒は，全体の 1 %未満であることが示されている。国内外で，授業で導入する実践研究が紹介されつつある状況においても，現状としては一

般の学校でそれを十分に活用した授業は少ないことが分かる。

以上のような，教育カリキュラムへの ICT の取り込みやセンサの活用，長所，短所等を勘案した上で，学習展開の開発とその実地検証を行った。

5.3　デジタルセンサの比較と仕様

学校の科学実験に特化し，かつ包括的にカリキュラムに適用できる教育向けインターフェイスやセンサは，現状，国内メーカー製が存在しないといって良い。いくつかの理化学機器・教材メーカーが諸外国（アメリカ，イギリス，イスラエル等）の製品を国内向けに輸入販売をしていることから，それに依存することになる。iOS や Android をオペレーティングシステムとしたタブレット端末が急速に社会全体に普及し，学校教育でも導入が進む中，近年それらタブレット端末でのデータ採取を可能にするシステムの販売が広がっている。インターフェイスを介してセンサを接続するために，従来 USB ケーブルでコンピュータに接続していたものを，Bluetooth や Wi-Fi の無線系を通じタブレット端末に接続し，リアルタイムでデータ採取することができる。

表 5-4: 科学実験向けデータサンプリング機器の取扱い

メーカー	国	URL	製品名
PASCO Scientific	アメリカ	www.pasco.com	SPARK Science
Vernier Software & Technology	アメリカ	www.vernier.com	LabQuest
Fourier Education	イスラエル	www.fourieredu.com	NOVA
Globisens Ltd	イスラエル	www.globisens.net	Labdisc
Data Harvest	イギリス	www.dataharvest.co.uk	EasySense

本研究では，次のマトリックスを基に総合的に判断し，PASCO Scientific 製の機材の導入を図った。

表 5-5: ソフトウェア，インターフェイス，センサのマトリックス評価

	評価項目（abstract）	SPARK Science	LabQuest	NOVA	Labdisc	Easy Sense
1）	ソフトウェアが，Windows, Mac, iOS, Android のいずれのオペレーティングシステムにおいても同一の操作方法であること	5	3	2	2	3
2）	いずれのオペレーティングシステムを持つ端末であっても，作成した実験ファイルをクラウドによって共有することができること	5	3	3	2	2
3）	センサを接続すると同時に，ソフトウェアがそれ自動認識を行い，特別な設定をすることなく，即座に測定を開始することができること	4	4	3	3	3
4）	取り込んだデータをデジタル信号として処理するセンサ類であり，1 つのセンサ筐体で複数の測定をすることができること（温度，pH，圧力，電圧の 4 種等）	4	2	2	5	2
5）	選択可能なセンサの種類多く，物理，化学，生物，地学すべてのカリキュラムに対応でき，かつ多様な測定環境に耐えうること	5	5	4	2	3
	総合判定	23／25	17／25	14／25	14／25	13／25

（評価　5: とても当てはまる 4: 当てはまる 3: やや当てはまる 2: あまり当てはまらない 1: 当てはまらない）

導入したソフトウェア，インターフェイスならびにセンサの仕様を以下に示す。

- 製品　SPARKvue データサンプリング（サイトライセンス）
- 型式　PS-2400
- 対応 OS　Windows 7 以上 / Mac OS X 10.7 以上
- 内容品
  1. インストール用 USB メモリ（1）

タブレット端末用　iOS：https://itunes.apple.com/jp/app/sparkvue-hd/id552527324?mt=8
Android：https://play.google.com/store/apps/details?id=com.isbx.pasco.Spark&hl=ja

- 製品　Air リンク 2 インターフェイス（導入数 10 台）
- 型式　PS-2010
- 電源　リチウムイオン電池/USB
- 対応ソフトウェア　SPARKvue
- 無線形式　Bluetooth

- 内容品
  1. インターフェイス本体（1）
  2. USB ケーブル（1）

- 製品　マルチ化学センサ（導入数 10 台）
- 型式　PS-2170
- 最大サンプリングレート　100 Hz
- 測定範囲　温度 -35～135 ℃ / pH 0～14
  絶対圧力 0～700 kPa / 電圧 ±10 V

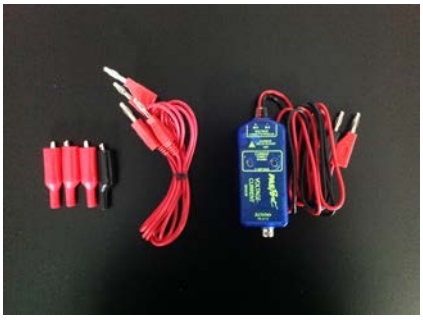
- 内容品
  1. センサ本体（1）
  2. pH プローブ（1）
  3. 電圧プローブ（1）
  4. ステンレス温度プローブ（1）
  5. 高速応答温度プローブ（1）
  6. シリンジ（1）
  7. コネクタ 2 種（各 4）
  8. 圧力チューブ（1）
  9. ポリウレタンチューブ（1）

- 製品　マルチ理科センサ（導入数 5 台）
- 型式　PS-2168
- 最大サンプリングレート　200 Hz
- 測定範囲　温度 -35～135 ℃ / 光 0～150,000 lux
  音レベル 50～100 dBA / 電圧 ±24 V

- 内容品
  1. センサ本体（1）
  2. 電圧プローブ（1）
  3. ステンレス温度プローブ（1）
  4. ポリウレタンチューブ（1）

- 製品　電圧/電流センサ（導入数 5 台）
- 型式　PS-2115
- 最大サンプリングレート　1,000 Hz
- 測定範囲　電圧 ±10 V / 電流 ±1 A

- 内容品
  1. センサ本体（1）
  2. 結線コード（2）
  3. ワニ口クリップ（赤 3，黒 1）



- 製品　放射線センサ（導入数 5 台）
- 型式　PS-2166
- 最大サンプリングレート　11,111 カウント/s
- 測定線種　α / β / γ 線
- 窓厚　1.5～2 mg/cm²，mica

- 内容品
  1. GM 管（1）
  2. デジタルアダプタ（1）

- 製品　比色センサ（導入数 5 台）
- 型式　PS-2121
- 最大サンプリングレート　5 Hz
- 測定範囲　透過率 0～100 %（吸光度表示可）
- 測定波長　468 nm（青）/ 565 nm（緑）
  610 nm（橙）/ 660 nm（赤）

- 内容品
  1. センサ本体（1）
  2. キュベット（5）
  3. センサケーブル（1）
  4. 収納ケース（1）

• 製品	2 ポート湿度/温度/露点センサ（導入数 5 台）
• 型式	PS-2156
• 最大サンプリングレート	2 Hz
• 測定範囲	相対湿度 0～100 % / 絶対湿度 0～50 g/m^3 温度 -20～55 ℃ / 露点 -50～55 ℃
• 内容品 1. センサ本体（1） 2. 湿度/温度プローブ（2）	

• 製品	CO_2 センサ（導入数 5 台）
• 型式	PS-2110
• 最大サンプリングレート	10 Hz
• 測定範囲	ガス濃度 0～300,000 ppm
• 内容品 1. センサ本体（1） 2. サンプルボトル（1） 3. センサケーブル（1）	

• 製品	O_2 センサ（導入数 5 台）
• 型式	PS-2126A
• 最大サンプリングレート	100 Hz
• 測定範囲	ガス濃度 0～100 %
• 内容品 1. センサ本体（1） 2. O_2 プローブ（1） 3. サンプルボトル（1） 4. センサケーブル（1）	

[製品取扱説明書より引用]

第3章

教科横断型の学習展開

－ クロスカリキュラムの構築 －

6 節 － 学習展開の開発と導入
7 節 － 学習展開の具体例

前述の教育と産業の調査を基に，21 世紀の課題を絡めた科学コミュニケーション，ならびに情報通信技術の活用を推進するための学習展開について記述する。学習展開の始まりは，メディアを通じ，グローバルでありながら地域社会に影響を及ぼしている時事について認識を深め，その周辺領域に関連する知識をナレッジウェブとして構築する。このような大きな概念を与えられた生徒は，理科，社会，技術，家政などの教科間の横断的思考を持ちながら，自己の判断と決定によって課題解決のための実験手順（シナリオ）を構築していく。デジタルセンサを用いてこの実験を実行することで即座に現象を確認し，結果を最適化するために手順の見直しを図る。すなわち， PDCA の改善プロセスを適用することで，実験手順という生産物の価値を高めていく。紹介される学習展開の具体例は，2012～2013 年度に外部支援を受け実施した実験講座ならびに研修会にて使用された内容を詳細に示したものである。教育段階に応じた活用が求められるが，その特性から，総合的な学習といった横断的思考の取り組みが可能な環境において，もしくは生涯，社会教育の一環として異なる年齢間や，背景を持った学習者を対象にすることも考えられる。

6 学習展開の開発と導入

本節では，第 1 章の社会情勢，産業形態の変化，国際学力比較，そして第 2 章の科学コミュニケーション，ICT の利用といった一連の考察を基に，科学的な知見と価値の創生によって将来の生産性の向上に寄与することができる人材，「科学的労働者」の育成を視野に入れた学習展開の開発とその詳細を述べる。この学習展開は，教育投資と生産性の相関関係が認められる青年期教育（中等教育）を主な導入先と定めているが，生涯，社会教育の観点から，市民の科学コミュニケーション活動の一環としても，その効果が期待される。

学習展開の主要なコンセプトは，「自己の判断に基づく価値の創生」である。少子高齢化と人口流出による労働力人口の減少に伴い，全体の生産高を維持，改善するために，産業はより高い付加価値を短時間で出力できるような工夫が求められ，それができる人材の育成が急務となっている。筆者は，科学実験を生徒の能力開発における「創造性を養う場」として捉え，21 世紀の課題に関わる様々な教科横断的知識を習得し，そこから課題解決のための科学実験に結びつけるという，逆向きのカリキュラム設計を行った。この実験では，生徒は，与えられた実験手順をこなすという受動的な立場ではなく，手順（ここではシナリオとも呼ぶ）を能動的に創り上げていくための生産プロセスを踏む。これは，個々の生徒が意思決定をするために，必要な知識，情報を自ら入手し，考察し，構築していくことで，自身や社会全体に影響を及ぼすであろう行いについて認識を高める [Harlen, 2010]，という科学教育の指針に沿うよう配慮した結果である。

6.1 学習展開

展開 I 課題と文脈の提示

21 世紀の課題を用いた，社会的，科学的文脈を含むステートメントを生徒に提供する。社会的文脈には，環境，エネルギー，技術革新，社会情勢等に関連する，生徒が日ごろメディアを通じて見聞きする内容が望ましい。また，科学的文脈には，基本的に生徒の教科書に掲載されている実験テーマを取り入れるが，可能な限り課題解決型の表記

に転換する。ステートメント上部に記載のナレッジウェブは，教科ごとに分断されがちなトピックを有機的に連結させるよう，生徒に促すために記載し，展開 II～III の中で生徒が知識を構築していくことになる。以下に，ステートメントを例示する。図示されるように，社会的文脈から，科学的文脈へ接続される特徴を持つ。

表 6-1: 21 世紀の課題 ステートメント(例)

【ナレッジウェブ】

【ステートメント】

社会的文脈

↓

科学的文脈

【ナレッジウェブ】

塩害，塩分濃度，灌がい，綿花，食料供給，水資源，イオン化傾向，電極，電圧

【ステートメント】

内海等の湖周辺の大規模な灌がいによって，水量が減少することで，その水の塩分濃度は上昇し，ついには生物の住めない環境になる場合がある。また，状況によっては周辺の農地に塩害をもたらし，食物生産にも影響が出ることが指摘されている。

このような水の塩分濃度は，イオン化傾向の異なる２つの電極を用い，その電極間に発生する電位差から推測することができる。塩分濃度と電圧の関係を調査するための実験を考え，それを実行する。

展開 II 課題の認識と意識化

教科書のみならず，雑誌，新聞，インターネット等のメディアを利用し，課題に関連した情報を（ナレッジウェブの用語を中心に）収集する。この展開では，生徒による調査学習の意味合いが強いため，教室や実験室での活動にとらわれず，図書室や情報室の利用，もしくは可能であれば，すべての生徒に（もしくはグループ毎に）インターネ

ット接続された情報端末を配布する。これによって，ナレッジウェブにおけるそれぞれの単語の意味を調べ，解釈させる。利用するメディアによっては，時間短縮のため，教員側であらかじめ用意しておくこともできる。ただ，ここでの目的としては，生徒が情報にアクセスし，得られた膨大な情報から，自身にとって有益であるものを選択し，それが正しいかどうかを自分なりに判断することにある。

表 6-2:メディアを通じた情報収集と調査（例）

塩湖： 陸に閉ざされ，湖水の塩分が淡水湖よりも高くなった湖を示す。湖水のイオン濃度が3,000ppm（0.3 %)以上であることが，塩湖として定義される基準となっている。
灌がい： 農作物を栽培するにあたって必要な水を供給し土地の食物生産力を高めるために，水を耕地に人工的に導き，行き届いた管理の基に地域に配分することをいう。
綿花（木綿）産業： 木綿の輸出上位国は，アメリカ合衆国，インド，ウズベキスタン，ブラジル，パキスタン等である。日本はロシアと並び，生産を全くしていない主な輸入国となっている。中国は生産高では１位であるが，そのほとんどを国内で消費している。
塩分濃度： 塩分濃度は水に溶けている塩の割合を示す。塩化ナトリウムだけでなく，硫酸マグネシウム，硫酸カルシウム，炭酸水素塩等の塩類を含めていうことが多い。
塩害： 塩分濃度が高すぎることで，湖においては魚の成育に影響が生じ，また農地においては作物への影響が生じる状態をいう。例えば，塩湖が干上がることで，塩が風に飛ばされて人の健康や構造物に問題を引き起こすことがある。
イオン化傾向： 水溶液中に入れられた金属が，電子ｅ-を失うことで，陽イオンになろうとする性質を示す。イオン化傾向が大きいとは，その金属が陽イオンになりやすい（電子を放出しやすい）ことを意味する。

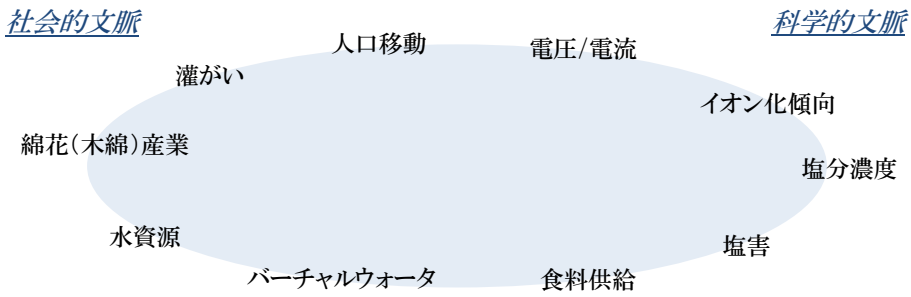


図 6-1: ナレッジウェブの構築 – 社会的文脈と科学的文脈の連結

展開 III 複雑性と影響の調査

グループ内で，ディスカッションを通じ，課題から生じる現象，国際/地域社会へもたらされる影響等を系統的に分析し，文章でまとめる。この展開において，前述した，ファシリテーションおよび KJ 法を活用し，課題の複雑性や相互作用性を明らかにしていく。すなわち，生徒が展開 II で収集した情報から，課題にまつわる現象，人為的行為，環境や生活への影響，改善への行動といった順序で，文章で視覚化をし，グループ内で情報を共有する。このような作業を通じて，課題によって，地域社会に及ぼされる影響を考えるきっかけを与えるとともに，そのような社会の一メンバーとして，どのような行動が求められるのかを考察できる機会となる。4 人程度のグループに対して，1 人のファシリテータを目安とする（グループ内で生徒 1 人にリーダーを任せ，ファシリテータとしての力量を高めてもらうと良い）。

表 6-3: 系統分析 – 人的行為，影響，行動（例）

人的行為：

カザフスタンとウズベキスタンにまたがるアラル海周辺では，ソビエト連邦時代に外貨獲得のための綿花の生産を増大させるために，大規模な灌がい事業が進められた。

環境，生活への影響：

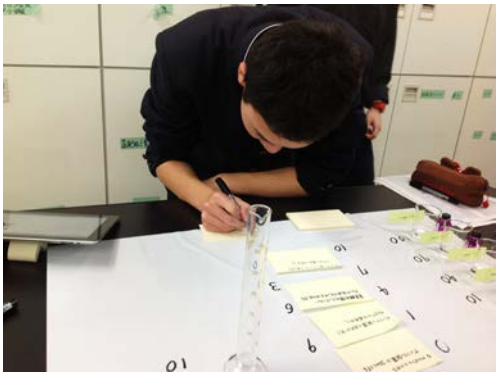
水量が急速に減少し，塩分濃度が高くなり，魚が生息できない環境になった。また，旧来盛んであった漁業の衰退，湖周辺の塩害（農作物の収穫不良），飲料水確保等の問題が生じた。

改善への行動：

周辺各国は，1994 年アラル海回復のため堤防等建設により運河改善に乗り出した。現在，小アラル海では水量が回復してきている。大アラル海の干上がった湖底では，原油，ガスといった天然資源の掘削が容易なため，水量回復に躊躇する動きがある。

展開 IV 実験テーマの選定と手順（シナリオ）の作成 – Plan

この展開では，生徒はステートメントの科学的文脈に記載された実験課題をこなすために，その方法を考え，手順（シナリオ）を計画する。実験のために使用できる器具，測定器，試薬等はあらかじめ用意されており，生徒はそこから自由に選択することができる。生徒が初めて使用する器具については，ファシリテータによって事前の説明がなされる。展開 III と同様に，実験手順の作成作業は，アイデアの視覚化によって進められる。つまり，ディスカッションの結果得られた新しいアイデアをカードに書き出し，それを並び替えて手順とするか，もしくは，文章とともに実験器具の組み上がり図や予想グラフ等を直接シートに書き込んでいく。



生徒の課題解決への取り組みを促進するために，フィッシュボーン図を活用した，目的とアプローチの視覚化作業を行うこともできる。上記ステートメントに示された課題を例に，実験講座で使用されたフィッシュボーン図を示す。生徒の学年や習得レベルに応じて，どの程度詳細に記載させるかを教員側で決定する必要があるものの，このようなアプローチ分析を行っておくことで，その後の手順作成に導きやすくなる。

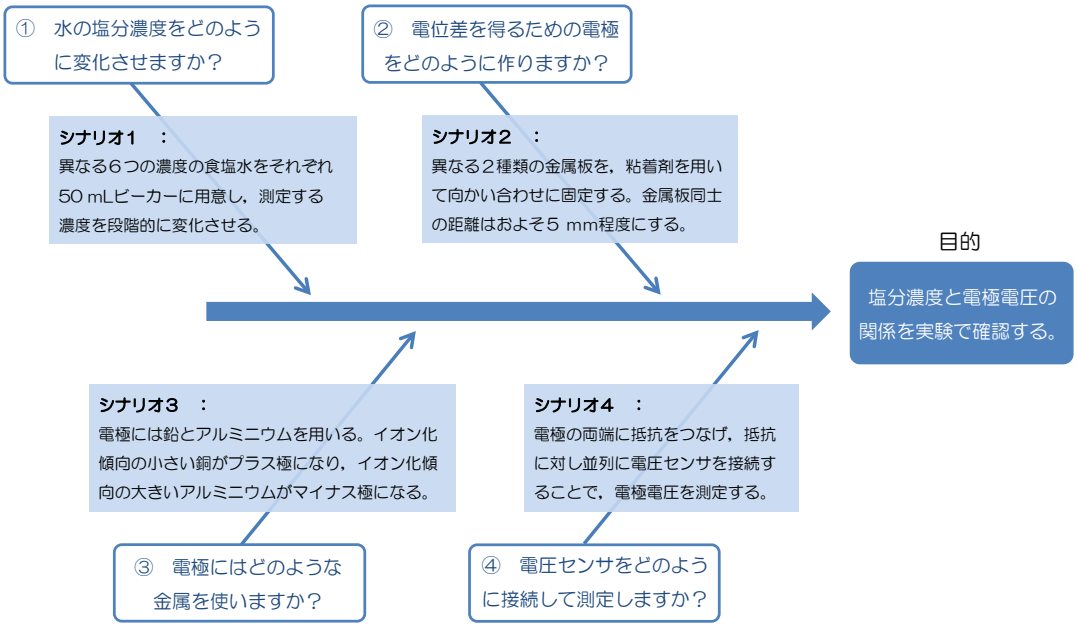
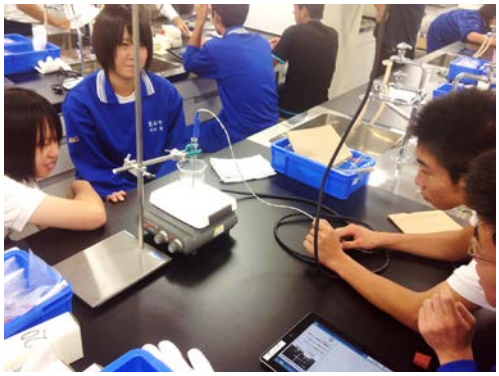


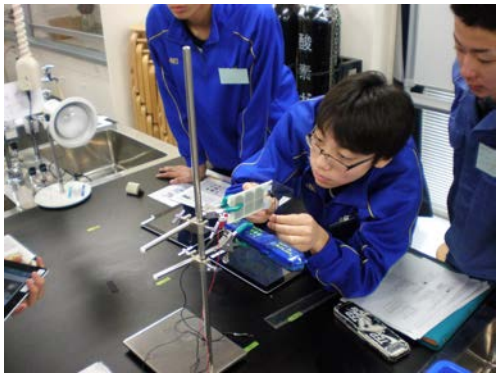
図 6-2: フィッシュボーン図を用いた目的達成のためのアプローチ分析

展開 V 実験の実施と内容の改善 – Do / Check / Adjust

展開 4 で作成された手順に基づいて，実験を行なう。そこから得られた結果を確認し，最良の結果が得られるように手順や条件を調節し，再度実験を行なう。重要なことは，得られたデータが妥当かどうかを判断し，もし妥当でない（予期しないデータやノイズが得られた等）場合には，繰り返し測定を行う点にある。このような，データ判断に基づく判断や自己決定を即座に行なえる環境を提供するために，現象をリアルタイムでグラフ化することができる情報端末とデジタルセンサの使用を生徒に促す。また，実験手順は生徒によって考案されたものであることから，生徒は内容を熟知しており，したがって実験が円滑に進む。その他，手順を周りのグループと交換して，他人に使用してもらうことで，作成自体に責任が生じ，他人が分かりやすいように手順を作成する（明瞭な文章表現）の訓練にもなる。

学校教育の科学実験では，仮説，予想を取り入れる手法が一般化してきたが，実験の手順自体を生徒が計画し（Plan），そしてそれを実行し（Do），確認し（Check），調節する（Adjust）といった PDCA プロセス全体を意識的に取り入れることはなかった。このプロセスは，実社会，特に産業界においては，常に付加価値を志向し，生産性を向上させる手段として広く用いられ，また，多くの場合，計画をする段階において，仮説，予想をたてる作業も伴うことからも，展開 IV，V に適宜取り入れる。





6.2 一般的な学習展開との差異

通常，実験の手法は，その指導をする教員の教育方針に依存することが多いため，一概には比較することができないものの，ここでは一般的な学習展開と，本研究にて提案された学習展開との差異をいくつか示したい（表 6-4）。

表 6-4: 一般的な学習展開と提案された学習展開の差異

項目	一般的な学習展開	提案された学習展開
学習，実験教育手法	身の回りの現象に関連付けて，実験へ導くこと，また，測定を始める際に前知識に基づいて予想する（もしくは仮説を立てる），といった手法を取り入れている。基本的に教科書に掲載された（もしくは教員が作成した）実験手順に沿って，作業が展開する。	21 世紀の課題を大きな概念と位置付け，その周辺領域を広げながら学んでいく手法。その関連するトピックは，科学領域に限らず，技術，環境，社会，経済，食料等多岐に渡る。課題解決のための実験手順を生徒自ら考案し実行に移すことによって，知識創造と自己決定が伴う。

	社会的文脈や話題（トピック）に実験自体は接続されていない場合が多い。そのようなトピックは，他の教科（社会等）によって取り扱われるため，生徒にとっては類似トピックであっても知識が分離してしまう可能性がある。	生徒が日頃からメディアを通じ情報に接していることが前提であり，また事前学習の習慣がない場合，自由な裁量に基づく調査学習や手順の作成といった能動的学習にはつなげにくい。また，グループにディスカッションをリードする生徒が存在しない場合，話が展開せずに，学習効果を発揮しにくい。
時間	実験手順は，教員によってあらかじめ綿密に組まれ，生徒がその手順に手を加える余地はないため，グループごとの進度を合わせやすく，したがって時間管理をしやすい。	実験手順は生徒によって考案，作成されるため，グループ間で異なる手順を踏む可能性がある。したがって実験のために必要とされる時間の長さが異なる場合がある。独創的である反面，統一性がないため，授業中の時間管理が難しい。
教員の力量	単一カリキュラムをこなすということで，自身の担当教科である理科の習得さえできていれば，教育上の問題は生じない。その分，専門性を深め，スペシャリスト，科学者としての視点で生徒に学問を教えることも可能となる。	担当教科に限らず，幅広い知識と教養を要する。特に社会的文脈を科学の学習に関連付けるために，日頃から最新の時事に通じていることが求められる。いわゆる裾野の広いジェネラリストとして，多様な観点から，科学を中心としたクロスカリキュラムを構築する能力を要する。
計測器具の利用	教科書に掲載されている実験器具は一般的なアナログ計器（アルコール温度計，電圧計，気体検知管等）であり，授業においてはそれと同等のものが使用される傾向にある。教員は，それぞれの計器の操作方法を生徒に伝達する必要がある。得られたデータを表やグラフにする作業によって，グループ内で共有する。	インターネットを用いた情報収集活動の他，デジタルセンサを情報端末に接続することで，現象変化をリアルタイムで表やグラフとして表示し，それを認識することができる環境を設定する（これをグループ内での試行錯誤と創意工夫を伴う改善活動につなげる）。測定項目を変更するには，異なる種類のセンサに入れ替えるだけで良く，また，ソフトウェアにおけるデータ採取時の基本的操作は共通となっている。

学校における一般的な学習展開は,「工学的アプローチ（Technological Approach）」として，学習や実験手順が系統的に制定され，生徒の学ぶ道筋がはっきりとしていることが特徴として挙げられる。一方で，提案された学習展開では，むしろ「羅生門的アプローチ（Rashomon Approach）」として，生徒やそのグループそれぞれの目標到達地点や手順，道筋等が一律に設定されておらず，自ら課題を見つけ，それに挑戦していく姿勢が求められる。すなわち，目標設定は特殊的でなく一般的であること，教授過程は既定のコースをたどるのではなく即興性を重視すること，そして，生徒が多様な視点を持つことを前提とし，教員自身が創造性を発揮しながら全体的，横断的な取り組みによって授業を成り立たせる。

6.3 連携先教科における学習上の達成目標

前述のような教科横断の学習展開を成し遂げるためには，社会，技術，家政といった他の教科における達成目標を考慮する必要がある。大きな概念としての 21 世紀の課題に関連する目標を抽出した表を以下に示す。

社会

【現代社会】

1) 自分たちが生きる現代社会に関心を持たせ，その中でどのように生きていけば良いのかについて考える。
2) 地理的分野，歴史的分野の学習内容と関連させながら，現代日本の特色について多面的，多角的に考察させ，それを自らの言葉で表現する。
3) 写真や統計資料等から，グローバル化，情報化，少子高齢化の意味と影響について読み取る。
4) 具体的な事例を基に，グローバル化，情報化，少子高齢化が政治，経済，国際関係に影響を与えていること，またそれらが互いに関連し，影響し合っていることを知る。

【経済】

1) 調査や討論，シミュレーション等の多様な学習活動を展開することで，経済に対する関心を持たせるとともに，経済に関する諸課題について，自ら考える。
2) 統計資料や図，新聞記事等の様々な資料を収集，選択したり，読み取ったり，その結果を分かりやすくまとめ，表現したりする学習を通して，経済的事象を捉える見方や考え方の基礎を養う。
3) 経済活動が，人間生活の維持，向上のために欠かすことのできないものであることを，身近な消費生活を通して理解する。

【国際社会の諸課題】

1) 国際社会が抱える諸課題について関心を高め，様々な資料を適切に収集，選択して多面的，多角的に考察させるとともに，その解決のための国際的な努力について理解する。
2) 事実を正確に捉え，公正に判断し，適切に表現できる能力と態度を養う。
3) 国際的な相互依存関係の深まりの中で，世界平和の実現と人類の福祉の増大のために，各国が相互に主権を尊重し，各国民が協力し合うことが重要であることを認識する。
4) 国際社会における日本の役割やあり方について考える。
5) 持続可能な社会を形成するために解決すべき課題を見いだし，それを意欲的に探究させながら，自分の考えをレポートとしてまとめる。

文部科学省「中学校学習指導要領（社会）」および東京書籍「評価規準」資料から引用

技術，家政

【エネルギー変換に関する技術】

1) 様々な機器を参考にしながら，エネルギー変化を理解させ，エネルギーを有効に活用するためには変換効率を高める必要があることを学ぶ。
2) エネルギー資源の種類とその利用方法とともに，新エネルギー開発等を推進する必要性等について理解する。
3) 持続可能な社会をめざすために，これまで学んだエネルギー変換に関する技術を評価し，活用しようとする態度を身に付ける。

【生物育成に関する技術】

1) 生物育成の意味と私たちの生活における役割を知った上で，育成生物の特性が生物育成技術と深く関わっていることを知る。
2) 私たちの生活に有効利用されている生物育成技術の流れを知るとともに，作物は地域独特の環境要因によって育成が左右されることを学ぶ。
3) 持続可能な社会の実現に向けて,生物育成技術の果たすべき役割について理解する。

【情報に関する技術】

1) 身の回りにある情報に関する技術に関心をもたせ，コンピュータを利用した情報の技術の利用例や働きについて学ぶ。
2) インターネット等のネットワークで情報を伝える仕組みを知り，またその情報を扱う際のネットワークの危険性と安全対策の必要性を知る。
3) 情報を扱う際のルールやマナー等のモラルの必要性を知る。
4) 情報の技術の発達と，社会の変化や環境問題との関わりを考える。
5) 情報の技術の長所と短所を判断し，自分の将来や生き方への活用の仕方を考える。

【身近な消費生活と環境】

1) 持続可能な社会の構築のため生活を見直し，環境に配慮した消費生活を送るための考えをまとめる。
2) 消費生活が環境に与える影響について調べさせ，限りある資源を有効に利用するための実践を図る。
3) 環境に影響を与えている消費生活を具体的に捉えさせ，これからの生活を展望した実践を図る。

文部科学省「中学校学習指導要領（技術，家政）」および開隆堂「評価規準」資料から引用

7 学習展開の具体例

本節では，「21 世紀の課題」を伴う科学コミュニケーションをどのように学習や実験に結びつけるか，デジタルセンサの活用例を交えて記述する。紹介されるトピックは，学校教育における理科のみならず，社会，技術，家政といった教科との連携を図ることができるように，教科横断性を有している。したがって，これら教科の教員は，可能な限りカリキュラムを相互接続させ，科学実験という課題解決のためのツールを活用するために，生徒に十分な動機付けを与えるような準備が必要となる。特に，生徒が日々接しているメディアから得られる情報については，多面的な見方，考え方を獲得できるように，様々なソースからの情報が利用可能であることが望ましい。

それぞれの学習展開の冒頭に，以下のコードを付記している。その学習がどのアクティビティやコンピテンシーを対象としているのかを示す。例えば，「Tw-2,4」と表記されている場合には，そのアクティビティは主に「チームワーク」を要し，コンピテンシーは「協働性・コミュニケーションスキル」と「科学的スキル」が該当する。

表 7-1: 学習展開に関連するコード表

アクティビティコード：

It = 情報伝達 Information transmission	Co = コミュニケーション Communication
Sw = シングルワーク Single work	Tw = チームワーク Team work
Pl = プランニング Planning	

コンピテンシーコード：

1. 創造性・イノベーションスキル	2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー	4. 科学的スキル

注記：

1) 学習・達成目標は，学校図書（理科），東京書籍（社会科）および開隆堂出版（技術家庭科）から引用した。

2) 学習展開内に記載された時間（分）は，それぞれの活動の所要時間を目安として示す。

3) リンク先として紹介されるすべてのホームページは，2014 年 1 月 8 日に最終のアクセスをした。

7.1 地球の環境温度の変化と氷の融解の関係

■ 横断する教科

理科，社会，技術，家政

■ 学習・達成目標

1) 国際社会が抱える諸課題について関心を高め，様々な資料を適切に収集，選択して多面的，多角的に考察し，その解決のための国際的な努力について理解する。(社)

2) インターネット，写真や統計資料等のメディアから，地球の環境温度の変化や氷の融解，その影響等について読み取り，内容を把握する。(社，技家)

3) 産業発展に伴う経済活動が，人間生活の維持，向上のために欠かすことのできないものである一方で，地球環境への負荷も同時に増すことに気付く。(社，技家)

4) 様々な物質に親しむとともに，観察や実験を通して，物質の性質や状態変化の特徴を見い出す。(理)

5) 酸素や二酸化炭素等，様々な気体の性質と特性を理解する。(理)

6) 物質の性質の調べ方の基礎を身に付けるとともに，物質には加熱したときの変化等，固有の性質と共通の性質があることを見い出す。(理)

7) 化学反応式の書き方や，化学反応式が表している意味を理解する。(理)

8) ２種類の物質を化合させて，反応前とは異なる物質が生成することを見い出す。(理)

■ ナレッジウェブ

IPCC，京都議定書，人口移動，大気温，物質純度，状態変化，融解熱，融解温度，二酸化炭素，酸化反応等

— ミッション１ —

■ ステートメント

地球気温の上昇とそれに伴う海水温の上昇によって，北極圏の大陸（グリーンランド等）や南極大陸の氷床が急速に海に融け出していることが，海面上昇の１つの要因と考えられている。このような融解と海面上昇によって，私たちの生活に影響が及ぶことが予想される。

科学者やメディアが指摘する内容について，ビデオからその要点を読み取る。可能であれば，同一トピックを取り扱う複数のメディアを比較する。

アクティビティコード:

It = 情報伝達　Co = コミュニケーション
Sw = シングルワーク　Tw = チームワーク
Pl = プランニング

■ 学習展開(例)

実行 1(It,Sw-3)：15 分

1 人 3～5 枚のカードを手にとって，ビデオの中からこれは大切ではないか，重要ではないだろうか，と思う点を書き取る。例えば，「気温と海面推移は，密接な関係がある」「世界の多くの都市は海沿いにあり海面上昇によって，より大きな影響を受ける」「海水が温暖化で温まることで体積が膨張することを考慮する必要がある」等。

http://www.nhk.or.jp/eco-channel/jp/history/theme/02.html [テーマから学ぶ環境問題 - NHK]

実行 2(Tw-2)：15 分

同じコメントや似たコメントのカードをグループにまとめ，シート上に貼り付け，枠で囲む。どの枠内のコメントがより大切かを話し合い，上位 3 つを決める。その上位 3 グループについて，温室効果ガスである二酸化炭素が増加し温暖化することで海水面が上昇することや，人間生活にどのような影響が及ぶのか等について，それぞれのコメントを文章にまとめて記述する。

実行 3(It)：5 分

この 100 年間における，世界規模の気温変化の様子を示す（おおよそ 1 ℃の温度上昇）。人口が多く，産業化が進んだ北米，ヨーロッパ，アジアの気温上昇が高いことを知る。

http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr_spm.pdf [気候変動 2007 政策決定者向け要約 - 環境省]

実行 4(It)：5 分

氷床は，降り積もった雪が固まり，層を重ねることで形成され，その厚さは数千メートルにもなる（下層部は非常に高い圧力にさらされる）。自らのその重みで，周辺へ徐々に押し出され，海に突き出た氷床を特に棚氷という。この棚氷は，海に浮いている状態であるため，海水温変化の影響を受けやすい。

コンピテンシーコード：

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

― ミッション 2 ―

■ ステートメント

過去の二酸化炭素濃度変化をみると，特に 19 世紀の産業革命以降その濃度は急速に伸びていることが，調査結果から明らかになっている。科学者によって指摘されるような，二酸化炭素濃度の上昇に伴う温室効果の増大を裏付けるための実験の手順を考え，それを実行する。

■ 学習展開(例)

実行 1(It)： 10 分

二酸化炭素の排出源としては，主に化石燃料の燃焼が挙げられる。二酸化炭素の排出量をみると，先進国はほぼ横ばいであるにも関わらず，開発途上国における排出量は急速に上昇し続け，現在では，先進国比でおよそ 1.5 倍であるものが，この後 40 年のうちに 3 倍近くにまで膨れ上がることが予想されている。

http://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2012 [STOP THE 温暖化 2012 - 環境省]

実行 2： 50 分

▽ 実験のポイント（It,Tw-1,2）

1) 実験で使用する二酸化炭素をどのように発生させたら良いだろうか。大気中の二酸化炭素の多くは化石燃料の燃焼の結果排出されるが，この実験では，実験室で簡単に，かつ安全に実行できる方法で二酸化炭素を発生させたい。
2) 発生する二酸化炭素をどのように容器にためたら良いだろうか。二酸化炭素の性質（その重さ）を考慮して，適切な気体置換法を導きたい。
3) 二酸化炭素の入った容器をどのように暖めたら良いだろうか。地球の大気は，太陽光によって暖められている。それを，光源を使って実験室で再現したい。
4) 容器内の温度変化を測定するには，どのセンサをどのように使えば良いだろうか。

▽ 利用可能な実験器具・試薬

スタンド，クランプ，気体発生用試験管，フラスコ（1 L），ビニルチューブ，ゴム栓，白熱光源，アルコールランプ，マルチ化学センサ（温度測定），ステンレス温度プローブ，二酸化炭素センサ，試薬（炭酸水素ナトリウム）

アクティビティコード:

It = 情報伝達　Co = コミュニケーション
Sw = シングルワーク　Tw = チームワーク
Pl = プランニング

▽ シナリオ作成（Tw,Pl-1,2）－上記各ポイントに対応（グループによって異なる）

1) 炭酸水素ナトリウムを試験管の中に入れ，それを外側からガスバーナーで加熱することで，二酸化炭素を発生させる。
2) 水で満たしたフラスコを逆さにし，その中に二酸化炭素を送り込むことで蓄える（水上置換法）。
3) フラスコを固定し，5～10 cm ほど離した位置に白熱光源を置き，フラスコを暖める。
4) 穴の開いたゴム栓に温度プローブを差し込み固定することで，フラスコ内部の温度を測定する。

▽ 二酸化炭素を発生させるいくつかの方法を伝達（It）

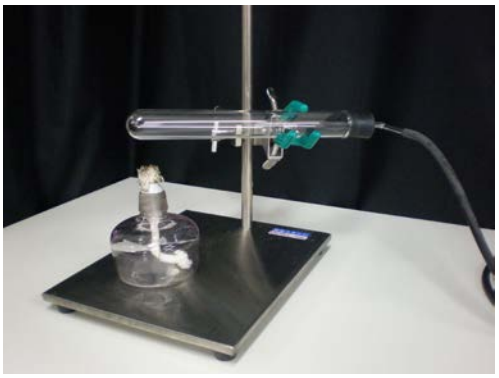
炭酸水素ナトリウム（加熱） → 炭酸ナトリウム＋水＋二酸化炭素

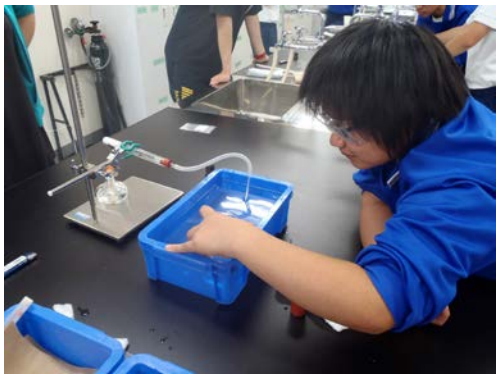
炭酸カルシウム（石灰石）＋塩酸 → 塩化カルシウム＋水＋二酸化炭素

エタノール＋酸素（燃焼） → 水＋二酸化炭素

▽ 実験手順の実行（二酸化炭素の発生と採取）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) 炭酸水素ナトリウムを試験管に入れる。
2) 試験管をスタンドのクランプに取り付ける。
3) 試験管にゴム栓とチューブを取り付ける。
4) アルコールランプを試験管の下に置く。
5) 容器に水をはり，その中でフラスコを水で充満させる。
6) 逆さにしたフラスコに試験管のチューブを差し込む。
7) アルコールランプに火をつけ，フラスコに二酸化炭素を送り込む。
8) 二酸化炭素が充満したら，チューブをフラスコから取り外す。
9) アルコールランプの火を消す。
10) 穴の開いていないゴム栓でフラスコをふさぐ。



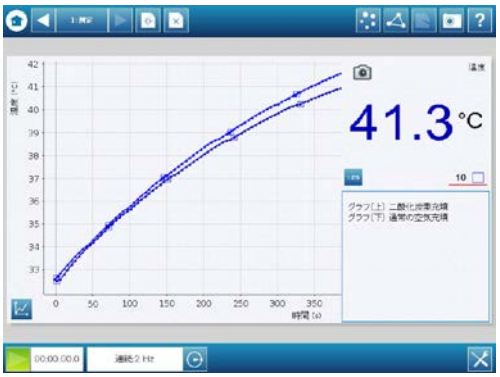


コンピテンシーコード:

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

▽　実験手順の実行（温室効果と温度上昇）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) 穴の開いたゴム栓に温度プローブを差し込む。
2) 二酸化炭素の入ったフラスコの栓を外し，温度プローブを取り付ける。
3) フラスコをスタンドに取り付ける。
4) 白熱光源をフラスコから一定の距離に置く。
5) 穴の開いたゴム栓に温度プローブを差し込む。
6) 二酸化炭素の入ったフラスコの栓を外し，温度プローブを取り付ける。
7) フラスコをスタンドに取り付ける。
8) 白熱光源をフラスコから一定の距離に置く。
9) フラスコ内の温度変化のグラフを予想する。
10) 白熱光源のスイッチを入れ，フラスコを暖める。
11) 温度データの測定を開始する。
12) フラスコ内の温度変化を観察する（約 5 分間）。
13) 温度上昇が小さくなったら，測定を終了する。
14) 新しいフラスコを用い，通常の空気で，上記測定を繰り返す。



二酸化炭素充填時と通常の空気充填時のフラスコ内の温度変化

― ミッション 3 ―

■ ステートメント

地球気温の上昇とそれに伴う海水温の上昇によって，氷床が急速に海に融け出していることを念頭に，物体の融けたり，凍ったりする現象を実験を通じ捉える。ここでは，ラウリン酸，パルミチン酸，ステアリン酸といった純物質を用いて，融解温度を特定するための実験の手順を考え，それを実行する。

アクティビティコード:

It = 情報伝達　　Co = コミュニケーション
Sw = シングルワーク　　Tw = チームワーク
Pl = プランニング

■ 学習展開

実行 1(It)： 10 分

氷の容量の変化は 2004-5 年を境にマイナスに転じ，グリーンランドや南極といった大陸の氷床は減少傾向にある。

http://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2012 [STOP THE 温暖化 2012 - 環境省]

▽ 物質の状態変化について伝達

物質を加熱し，温度が融点に達すると物質は融け始め，融解中はある一定時間同じ温度を維持する。すべての物質が融解すると再び温度は上昇しはじめる。

融解熱：物質が融解するときに外部から吸収する熱量

凝固熱：液体や気体が凝固して同温度の固体になるとき放出される熱量

実行 2： 50 分

▽ 実験のポイント（It,Tw-1,2）

1) 利用できる物質は，ラウリン酸，パルミチン酸，ステアリン酸とする。それぞれの物質の融点をあらかじめメディアを通じ調べておき，その値に近似する結果が出るかどうかを検証する。
2) 物質をどのように熱し，融解させたら良いだろうか。できるだけ均一に温める方法を考える。
3) 物質をどのように凝固させたら良いだろうか。温められた物質を凝固点まで素早く，またできるだけ均一に冷やしたい。
4) 容器内の温度変化を，どのセンサを使いどのように測定したら良いだろうか。

▽ 利用可能な実験器具・試薬

スタンド，クランプ，試験管，ビーカー（200 mL），ゴム栓，電気ヒーター，電子天びん，マルチ化学センサ（温度測定），ステンレス温度プローブ，試薬（ラウリン酸，パルミチン酸，ステアリン酸），氷

▽ シナリオ作成（Tw,Pl-1,2）－上記各ポイントに対応（グループによって異なる）

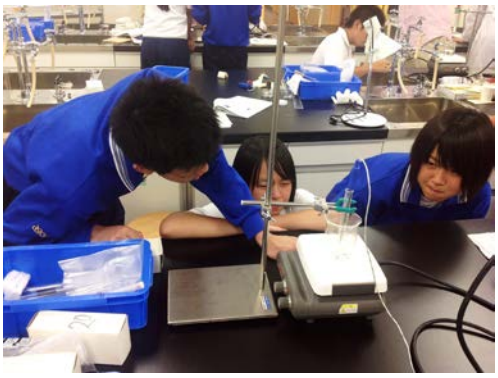
1) 文献上の融点は，ラウリン酸 43.2 ℃，パルミチン酸 62.9 ℃，ステアリン酸 69.9 ℃である。
2) 試験管に入った物質を融かすために，ビーカーに水を入れ，それを電気ヒーターで 80 ℃程度に暖めたものを用いる。
3) 試験管に入った物質を固めるために，氷水（0 ℃）をビーカーに用意し，その中に試験管を入れる。
4) 試験管上部にゴム栓を用いて温度プローブを固定することで，物質の温度を測定する。

コンピテンシーコード：

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

▽ 実験手順の実行（物質の融解と凝固）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) ビーカーに水を入れ，電気ヒーターで温める。
2) 他のビーカーに水と氷を入れる。
3) 測定する物質を試験管に入れる。
4) 温度プローブを試験管に差し込む。
5) 試験管をスタンドに取り付ける。
6) 温度データの測定を開始する。
7) クランプを下げ，試験管をビーカーの熱湯に浸す。
8) 物質が完全に融け，融解曲線を確認したら，測定を終了する。
9) 再び測定を開始し，試験管を氷水の中に移す。
10) 凝固曲線を確認したら，測定を終了する。
11) 他の物質で同じ測定を繰り返す。



ラウリン酸の融解曲線

物質の温度が融点に達してから，物質が完全に融けるまでの時間をグラフから読み取る。単位時間内に同じ熱量が物質に加わっているとすると，どの物質の融解熱がより高いかを考える。

― 学習のまとめ ―

二酸化炭素 / 温室効果 / 気温上昇 / 極地大陸 / 氷床 / 棚氷 / 海水温 / 海面上昇 / 物質 / 融解 / 融点 / 周辺温度等の学習した事柄を用いて，得られたこと，考えさせられたこと，そして思い付いたことをまとめる。

［それぞれのミッションで使用したメディア画像は著作権の理由から，掲載していない］

アクティビティコード:

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク

7.2 気候変動や灌がいの水サイクルに及ぼす影響

■ 横断する教科

理科，社会，技術，家政

■ 学習・達成目標

1) 国際社会が抱える諸課題について関心を高め，様々な資料を適切に収集，選択して多面的，多角的に考察し，その解決のための国際的な努力について理解する。(社)
2) インターネット，写真や統計資料等のメディアから，気候変動，灌がい，水サイクルとその影響について読み取り，内容を把握する。(社，技家)
3) 産業発展に伴う経済活動が，人間生活の維持，向上のために欠かすことのできないものである一方で，地球環境への負荷も同時に増すことに気付く。(社，技家)
4) 環境に影響を与えている消費生活を具体的に捉えさせ，これからの生活を展望した実践を図る。(技家)
5) 様々な物質に親しむとともに，観察や実験を通して，物質の性質や状態変化の特徴を見い出す。(理)
6) 大気中を循環する水の動きを理解する。(理)
7) 空気中の水蒸気から，水滴が生じる原因を，既習の状態変化の実験から考察する。(理)
8) 雲の観察や水蒸気の凝結実験から，雲のでき方，雨や雪のでき方を理解する。(理)
9) イオンの存在を知り，イオンの生成が原子の成り立ちに関係することを知る。(理)
10) 電池は化学エネルギーを電気エネルギーに変化させる装置であることを知る。(理)

■ ナレッジウェブ

干ばつ，食料供給，遺伝子組み換え食物，水供給，食生活，雲の発生，大気圧，湿度，降雨等

— ミッション 1 —

■ ステートメント

気候変動や大規模灌がい（外部からの水を人工的に農地に供給すること）によって，時に自然の水サイクルがダメージを受け，地域によっては深刻な干ばつの問題に直面している。メディアを通じ，遠く離れた国で起きている干ばつによって，日本での暮らしや食料供給にどのような影響が及ぶのかを，グループごとに考察する。

コンピテンシーコード:

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

■ 学習展開(例)

実行 1(It,Sw-3): 15 分

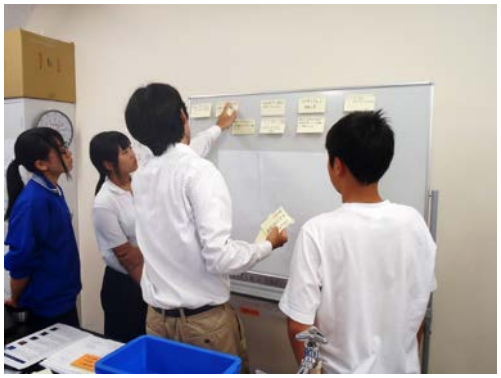
アメリカで起きている干ばつとその影響を取り上げたメディアを用意し，アメリカと日本で起きている問題を別々のカードに書き取る。

http://www.nhk.or.jp/eco-channel/jp/history/theme/05.html [テーマから学ぶ環境問題 - NHK]

実行 2(Tw-2): 15 分

2 つの問題はどのような要因でつながっているのかを考え，カードに書き込み，フローチャートを作成する。

【例】 [アメリカ] 気温上昇による内陸地からの過度の蒸発 / 大規模灌がいによる地下水の大量利用 ⇒ 大地の乾燥化 ⇒ 干ばつ ⇒ 食物生産不良 ⇒ 食物供給量の不足 ⇒ 食物価格上昇 ⇒ 輸入家畜飼料（トウモロコシ等）の価格上昇 ⇒ 生乳の価格上昇 ⇒ 生乳を使った加工食品の価格上昇 ⇒ 家計出費の増大 [日本]



実行 3(It): 5 分

内陸部の雨の少ない地域に高気圧が停滞し日射が続くことで，水分が蒸発し大地は乾燥する。食物が育つことのできない状況に陥った環境を干ばつと呼び，近年このような干ばつに見舞われる回数とともにその規模が増大してきたといわれる。

実行 4(It): 5 分

生産不良になると，市場の原理によって，食物をより高く買ってくれる国や地域に食物が流れるようになる。結果，購買力が低い国ではより供給不足に陥りやすい。

アクティビティコード:

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク

— ミッション 2 —

■ ステートメント

地球上の水サイクルの変動は，動植物の活動に影響を及ぼし，また食物生産力の低下を引き起こす恐れがある。乾季の到来，大規模灌がい，森林の大量伐採といった要素は，この水サイクルに必要な降雨をもたらす雲の発生を左右する。

水の蒸発によって雲が発生する仕組みを調べ，乾燥や湿潤状態はどのように雲の発生に影響を与えるのか確認するための実験の手順を考え，それを実行する。

■ 学習展開(例)

実行 1(It-3)：10 分

雲の発生と降雨の仕組み(プロセス)を調査し，グループ内で情報を共有する。

（記述例）

1) 地上や海面の湿った空気が暖められる。
2) 暖かい空気は上昇し，その体積は膨張し温度を下げる。
3) 温度が下がり，露点に達すると，ちり（凝結核）の周りに水滴ができる。
4) さらに空気が上昇し温度が下がると氷の粒ができる。
5) 水や氷の粒が大きくなると落下し始める。

露点：水蒸気を含む空気を冷却したとき，凝結が始まる温度

凝結核：大気中の水蒸気が飽和し凝結するとき，その中心となる微粒子

実行 2：50 分

▽ 実験のポイント（It,Tw-1,2）

1) フラスコを用いて，地上の気圧と上空の気圧の差をどのように作り出したら良いだろうか。
2) 上空のちり（凝結核）をフラスコ内にどのように再現したら良いだろうか。
3) 乾燥した状態，湿った状態をどのように作り出したら良いだろうか。
4) 容器内の温度と圧力の変化をどのように測定したら良いだろうか。

▽ 利用可能な実験器具等

スタンド，クランプ，フラスコ（1 L），ビニルチューブ，T 字チューブ，逆止弁，ゴム栓，線香，洗浄瓶，ドライヤー，ライター，マルチ化学センサ（温度，圧力測定），ステンレス温度プローブ

コンピテンシーコード：

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

▽ シナリオ作成（Tw,Pl-1,2）－上記各ポイントに対応（グループによって異なる）

1) フラスコに，逆止弁のついたチューブとシリンジを接続し，フラスコ内部を減圧する。
2) 線香に火をつけ，その煙をフラスコ内に送り込む。
3) 乾かす時には，フラスコ内部をドライヤーで温風を送り込む。湿らす時には，フラスコ内に水を少し入れてから振る。
4) ゴム栓の穴に温度プローブを差し込みフラスコ内の温度を測定する。また，T 字チューブに圧力センサに接続し，フラスコ内の圧力を測定する。

▽ 実験手順の実行（二酸化炭素の発生と採取）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) チューブを介してセンサをゴム栓に取り付ける。
2) ゴム栓をフラスコに押し込む。
3) フラスコとセンサをスタンドに取り付ける。
4) フラスコ内の圧力と温度の変化を予想する。
5) 圧力と温度の測定を開始する。
6) シリンジを引いたり押したりして，フラスコ内の空気を抜く。
7) フラスコ内の圧力と温度の変化を観察する。
8) グラフ上で観察ができたら，測定を終了する。
9) 測定から得られた圧力と温度の関係を考察する。
10) 次の条件をつくり，それぞれ雲の発生状態を確認する。
    - 乾いた空気のみ
    - 乾いた空気と凝結核
    - 湿った空気のみ
    - 湿った空気と凝結核

フラスコ内の空気を抜いた時の圧力変化と温度変化

アクティビティコード:

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク

― ミッション 3 ―

■ ステートメント

内海等の湖周辺の大規模な灌がいによって水量が減少することで，その水の塩分濃度は上昇し，ついには生物の住めない環境になる場合がある。また，状況によっては周辺の農地に塩害をもたらし，食物生産にも影響が出ることが指摘されている。

このような水の塩分濃度は，イオン化傾向の異なる 2 つの電極を用い，電極間に発生する電位差から推測することができる。塩分濃度と電圧の関係を調査するための実験の手順を考え，それを実行する。

■ 学習展開

実行 1(It,Tw-2,3)： 10 分

大規模灌がいが自然の湖（内海）にどのような影響を及ぼすか，メディアを通じて読み解く。特に，塩分濃度が高すぎる場合，漁業や沿岸の町，周辺農業へもたらされる塩害等を調査する。

http://cgi4.nhk.or.jp/eco-channel/jp/movie/play.cgi?movie=j_worldnet_20100710_0428 [消滅の危機にひんするアラル海 - NHK]

実行 2(It)： 10 分

電池は，酸化と還元を別々の場所で行わせ電位差（電極電圧）を得る装置である。

- イオン化傾向が大きい金属は，電子を放出する（酸化反応）→ マイナス極になる
- イオン化傾向が小さい金属は，電子を受け取る（還元反応）→ プラス極になる

（両極間のイオン化傾向の差が大きいほど，電位差は大きくなる）

実行 3： 50 分

▽ 実験のポイント（It,Tw-1,2）

1) ビーカー内の塩水の濃度をどのように変化させたら良いだろうか。
2) 電位差を発生させる電極をどのように作り上げたら良いだろうか。
3) できるだけ大きな電位差を得るには，どのような金属を組み合わせたら良いだろうか。
4) 電圧センサをどのように回路に接続して，電圧を測定したら良いだろうか。

▽ 利用可能な実験器具

スタンド，クランプ，ビーカー（50 mL），撹拌子，スターラー，電子天びん，リード線，洗浄瓶，薬さじ，抵抗（1,000 Ω），マルチ化学センサ（電圧測定），電圧プローブ，金属板（銅，鉛，ニッケル，鉄，亜鉛，アルミニウム等），粘着剤，食塩

コンピテンシーコード：

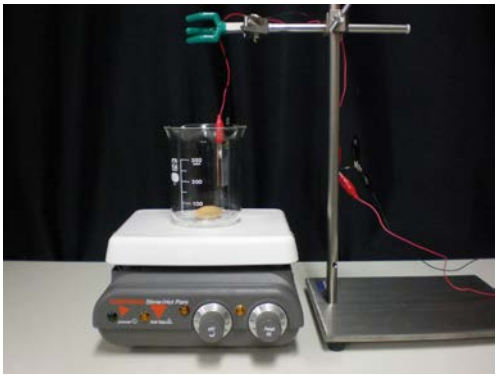
1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

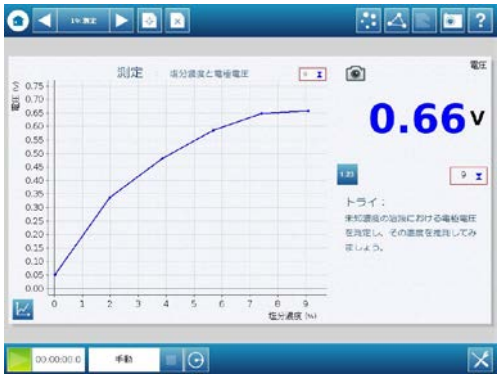
▽ シナリオ作成（Tw,Pl-1,2）－上記各ポイントに対応（グループによって異なる）

1) 純水を入れたビーカーを塩分濃度 0 %とし，少しずつ濃度の高い塩水をそれぞれビーカーに用意する。
2) 異なる 2 種類の金属板を，粘着剤を用いて向かい合わせに固定する。金属板同士の距離はおよそ 5 mm 程度にする。
3) 電極には鉛とアルミニウムを用いる。イオン化傾向の小さい銅がプラス極になり，イオン化傾向の大きいアルミニウムがマイナス極になる。
4) 電極に抵抗をつなげ，その抵抗に対し並列に電圧センサを接続することで，電圧を測定する。

▽ 実験手順の実行（物質の融解と凝固）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) ビーカーに純水と濃度 1～5 %の塩水を用意する。（1 %刻み）
2) 選んだ金属板を使い，電極を作る。（金属名を記録）
3) 電極，抵抗，リード線を使い回路を組む。（電極間距離を記録）
4) 回路に電圧センサを接続する。
5) どのような電圧-塩分濃度グラフが得られるか予想をたてる。
6) 電圧データの測定を開始する。
7) リード線をクランプにかけ，純水が入ったビーカー内に電極を入れる。
8) ソフトウェアの保持ボタンを押す。
9) 濃度 1～5 %の塩水を用いて，同様の測定を繰り返す。
10) 電圧と塩分濃度の関係を示すデータが得られたら，測定を終了する。
11) 得られたデータをグラフ化し，電圧-塩分濃度の関係を導く。





塩分濃度と電極電圧の関係

ある濃度の塩水に電極をつけたところ，0.45 V を示した。実験で得られたグラフから，この塩水の濃度を推定する。

アクティビティコード：

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク

— 学習のまとめ —

水サイクル，蒸発，降水，流出，干ばつ，人口増大，都市化，灌がい，雲の発生，湿度，凝結核，塩分濃度，電極電圧，イオン化傾向等の学習した事柄を用いて，得られたこと，考えさせられたこと，そして思い付いたことをまとめる。

[それぞれのミッションで使用したメディア画像は著作権の理由から，掲載していない]

7.3 化石燃料消費と光化学スモッグ，酸性雨の関係

■ 横断する教科

理科，社会，技術，家政

■ 学習・達成目標

1) 国際社会が抱える諸課題について関心を高め，様々な資料を適切に収集，選択して多面的，多角的に考察し，その解決のための国際的な努力について理解する。(社)
2) 国際社会における日本の役割やあり方について考える。
3) インターネット，写真や統計資料等のメディアから，化石燃料の消費，光化学スモッグ，酸性雨とその影響について読み取り，内容を把握する。(社，技家)
4) 産業発展に伴う経済活動が，人間生活の維持，向上のために欠かすことのできないものである一方で，国境を越えた汚染問題に発展することに気付く。(社，技家)
5) 持続可能な社会をめざすために，これまで学んだエネルギー変換に関する技術を評価し，活用しようとする態度を身に付ける。(技家)
6) 環境条件と大気の関係を考察し，人間の活動が自然界に及ぼす影響を理解する。(理)
7) 人間の活動が水や大気の組成に与える影響を知り，それを防ぐ対策の必要性を理解する。(理)
8) 酸性とアルカリ性の水溶液の性質を調べ，酸とアルカリの意味を理解する。(理)
9) 酸とアルカリのそれぞれの特性が水素イオンと水酸化物イオンによることを理解する。(理)
10) 酸性やアルカリ性の強さは pH で表されることを理解する。(理)

■ ナレッジウェブ

工業化，化石燃料，排気ガス，酸化物質，酸性雨，pH，酸度，光化学スモッグ，越境汚染等

コンピテンシーコード:

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

ー ミッション 1 ー

■ ステートメント

化石燃料を燃やすという行為によって，酸化物質（窒素酸化物や硫黄酸化物）が発生し，産業革命以降このような酸化物質の排出は伸び続け，酸性雨や光化学スモッグを引き起こすことが知られている。アジア諸国は近年その排出量が増し，日本への影響も出ることが懸念されていることから，ここではいくつかの調査を行い，その実態を知る。

■ 学習展開(例)

実行 1(It,Tw-2)： 15 分

化石燃料を燃やすことによって発生する酸化物質に，窒素酸化物や硫黄酸化物がある。これらは NOx や SOx と呼ばれ，NO/NO_2 もしくは SO/SO_2 といった物質を示す。これら酸化物質が水中に溶けると，硝酸や硫酸を生じ，その水は酸性傾向になる(雨に溶ければ酸性雨の原因となる)。また，太陽光(紫外線)によって光化学オキシダントに変化することで，強い酸化力を持ち，高濃度になると眼やのどが刺激を受ける他，呼吸器への影響も出ることがある。

メディアを通じその現状を観察し，1）酸性雨や光化学スモッグの発生条件，2）その発生原因，3）生活への影響の3点をカードに記載し，グループで意見をまとめる。

http://www.nhk.or.jp/eco-channel/jp/history/theme/06.html [テーマから学ぶ環境問題 - NHK]

実行 2(It,Tw-2,3)： 15 分

窒素酸化物の発生源別排出量や車種別排出量を調べ，どのような場所から汚染物質が排出されるのかを調べる。

http://www.env.go.jp/air/car/pamph2 [自動車 NOx・PM 法の手引き - 環境省]

アクティビティコード:

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク

（例）NOx の主な発生源は自動車であり，全体の排出量の半分を占める。その中でも，バス，トラック等大型車のディーゼルエンジンがその主要な排出源である。ディーゼルエンジンは，燃料を空気と均一に混じらせてから発火させるガソリンエンジンと異なり，圧縮した空気に燃料を吹き付け自然発火させるために，シリンダ内で不均一な燃焼が起きやすい。

実行 3(It,Tw-2,3)： 15 分

東アジア圏での，窒素酸化物の年間排出量等を調査し，どの地域で増加傾向にあるかを知る。

http://envgis5.nies.go.jp/eastasia/ [東アジアの広域大気汚染マップ - 国立環境研究所]

（例）東アジア全体でみると，NOx 年間排出量は，過去 30 年間で 3 倍のペースで増加している。日本は排気ガス規制等の結果年々減少傾向にあるものの，近年隣国の排出量の伸びは著しい。偏西風により酸化窒素成分が西から東に流れると，日本における光化学スモッグや酸性雨を引き起こすことがある。このような汚染の形態を越境汚染という。

— ミッション 2 —

■ ステートメント

このミッションでは，まず，吸光度を測定する比色センサの取扱いと検量線の作成方法を学ぶ。その上で，ザルツマン試薬を調合し，車の排気口から汚染されたガスを集め，窒素酸化物 NOx の濃度を測定する手順を考え，それを実行する。

■ 学習展開(例)

実行 1： 50 分

▽ 実験のポイント（It,Tw-1,2）

1) 車の排気口からどのように排気ガスを採取したら良いだろうか。

2) 100 mL のザルツマン試薬を調合するために，どの試薬をどのように調合したら良いだろうか。

3) 検量線をどのように作成したら良いだろうか。

4) 吸光度測定には，何色の光を利用したら良いだろうか。

コンピテンシーコード:

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

▽ 利用可能な実験器具・試薬

スタンド，クランプ，ビーカー（100 mL），三角フラスコ（200 mL），ロート，ビニルチューブ，ゴム栓，ペットボトル，キュベット，洗浄瓶，ホットプレート，水槽，比色センサ（吸光度測定），マルチ化学センサ（温度測定），ステンレス温度プローブ，試薬（スルファニル酸，リン酸溶液，ナフチルエチレンジアミン溶液）

▽ シナリオ作成（Tw,Pl-1,2）－上記各ポイントに対応（グループによって異なる）

1) ゴムチューブの片方の先にロートを取り付け，もう片方をペットボトルの奥まで差し込む。ロートを排気口に近づけ，排気ガスをペットボトルに送り込み，内部の空気と排気ガスを置換させる。
2) スルファニル酸，リン酸溶液，ナフチルエチレンジアミン溶液を用いて，ザルツマン試薬を調合する。
3) 濃度の異なる亜硝酸ナトリウム溶液を調合し，それぞれにザルツマン試薬を入れ，10 分程度放置する。発色した溶液を比色センサで測定する。
4) 色相環を用いて，発色した色と対称にある色（補色）を選択し，光源として使用する。

実行 2(Tw)：20 分

実験に必要なザルツマン試薬を調合する。

1) 純水 50 mL を三角フラスコに入れて加熱し，約 90 ℃まで温める。
2) スルファニル酸 0.5 g を加え，完全に溶解させる。
3) 溶液を約 30 ℃に冷ます。
4) リン酸溶液 3 mL を加える。
5) ナフチルエチレンジアミン 5 mg を加える。
6) 純水を加え，全量を 100 mL にする。（冷水中で冷やして保管）

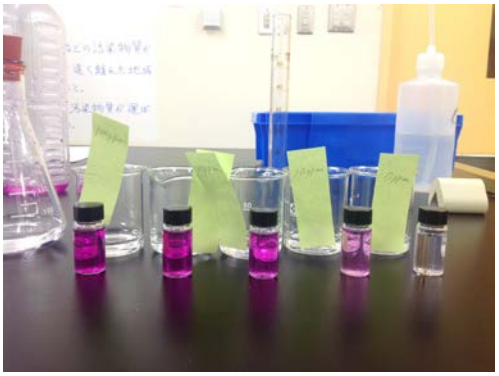
実行 3(Tw)：20 分

検量線を作成する。

1) 亜硝酸ナトリウムを用いて，0，10，40，70，100 ppm の濃度の標準溶液をビーカーに用意する。
2) 5 つのキュベットそれぞれに，ザルツマン試薬 7 mL を入れる。
3) 5 つのキュベットそれぞれに，異なる濃度の標準溶液 1 mL を入れる。
4) 発色が完了するまで 10 分程度待つ。
5) 発色が完了した溶液を比色センサに入れ，吸光度を測定する。
6) 吸光度と濃度（ppm）の関係をグラフ（検量線）にする。

アクティビティコード:

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク



標準溶液の濃度と吸光度の関係（検量線）

▽　実験手順の実行（吸光度と窒素酸化物濃度の測定）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1)　ガソリン車の排気ガスをペットボトルに採取する。

2)　ペットボトルにザルツマン試薬を 20 mL 入れ，よく振る。

3)　ザルツマン試薬と排気ガスの反応が完了するまで，10 分程度待つ。

4)　ブランク溶液（0 ppm）の入ったキュベットを比色センサに入れ，ゼロ化する。

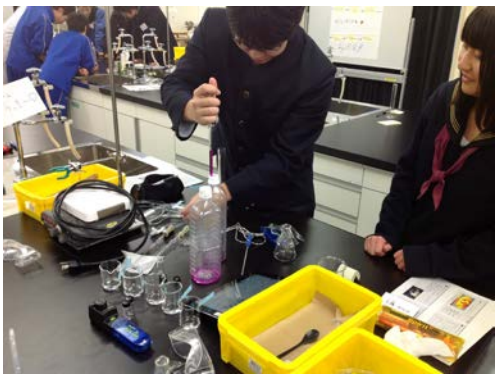
5)　ピペットを使いペットボトル内の溶液を空のキュベットに移す。

6)　溶液の入ったキュベットを比色センサに入れる。

7)　適切な色を用いて，溶液の吸光度を測定する。

8)　検量線を用いて窒素酸化物濃度を読み取る。

9)　同様に，ディーゼル車の排気ガスを測定する。



コンピテンシーコード：

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

― ミッション 3 ―

■ ステートメント

日本では，近年厳しい環境規制のなか，酸化物質の排出が制限されてきたが，急速に発展している諸国から，酸化物質が国境を越えて飛来してくる例がある。酸化物質が空気中の水分に溶け，酸性雨や酸性雪が生じる原因となっていることを示す実験の手順を考え，それを実行する。

■ 学習展開

実行 1(It,Tw-3)： 10 分

自動車や工場から排出される窒素酸化物，硫黄酸化物が国境を越え日本にやってくる事例を参考に，このような汚染物質が，生態系へどのような影響を及ぼすかを知り，日本のとるべき方策について考えてみる。

http://cgi4.nhk.or.jp/eco-channel/jp/movie/play.cgi?movie=j_kankyo_20011103_1794［酸性雨 解明すすむ生態系への影響 - NHK］

実行 2(It)： 10 分

二酸化窒素は雨水等の冷水に溶けると，硝酸と亜硝酸になることを説明する。

$$2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2$$

実行 3： 50 分

▽ 実験のポイント（It,Tw-1,2）

1) 窒素酸化物をどのように発生させたら良いだろうか。

2) 発生する窒素酸化物をどのように採取し，水に溶かし込んだら良いだろうか。

3) 水のpH 変化をどのように測定したら良いだろうか。

▽ 利用可能な実験器具・試薬

スタンド，クランプ，気体発生用試験管，ビーカー（300 mL），フラスコ，撹拌子，スターラー，洗浄瓶，シリンジ，銅片，試薬（濃硫酸），マルチ化学センサ（pH 測定），pH プローブ

▽ シナリオ作成（Tw,Pl-1,2）－上記各ポイントに対応（グループによって異なる）

1) 濃硝酸と銅の反応から，窒素酸化物を試験管内で発生させる。

2) シリンジを用いて，窒素酸化物を含んだガスを吸い込み，それを水中に溶かし込む。

3) pH センサをフラスコ内部に差し込むことで，窒素酸化物を送り込むにつれ変化する pH を観察する。

アクティビティコード:

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク

▽ 実験手順の実行（水の pH 変化の測定）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) チューブを介して，ゴム栓にビニル袋を取り付ける。

2) 濃硝酸を試験管に入れ，さらに少量の銅片を入れると同時にゴム栓をする。

3) 反応によって生じる窒素酸化物をビニル袋に採取する。

（以上 1~3 の作業はファシリテータによって実施）

4) フラスコに冷水を入れる。

5) フラスコに撹拌子を入れ，冷水をかき混ぜる。

6) クランプを用いて pH プローブを取り付ける。

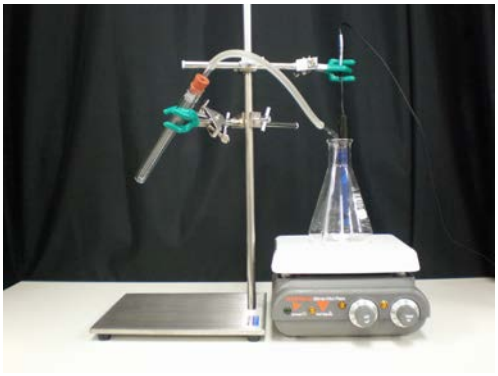
7) pH データの測定を開始する。

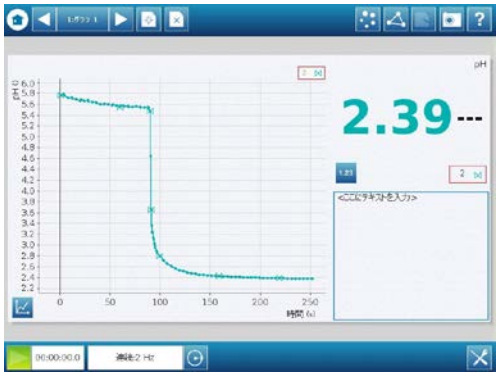
8) 通常の空気を水に送り込み，pH が大きく変化しないことを確認する。

9) 採取した窒素酸化物を，シリンジを用いてフラスコ内に送り込む。

10) pH の変化を観察したら，測定を終了する。

（写真は，窒素酸化物を試験管からフラスコに直接送り込んだ場合を示す）





窒素酸化物をフラスコ内の冷水に送り込んだときの pH の変化

実験によって得られた pH 変化から、窒素酸化物は水の pH にどのような影響を与えているといえるかを考える。また，今回の結果を酸性雨や酸性雪の発生に結び付けてみる。

— 学習のまとめ —

自動車，工場，化石燃料，排気ガス，クリーンディーゼル，越境汚染，酸化物質，光化学スモッグ，酸性雨，ザルツマン試薬，吸光度，濃度，検量線等の学習した事柄を用いて，得られたこと，考えさせられたこと，そして思い付いたことをまとめる。

［それぞれのミッションで使用したメディア画像は著作権の理由から，掲載していない］

コンピテンシーコード:

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

7.4 再生可能エネルギーの特性とその利用

■ 横断する教科

理科，社会，技術，家政

■ 学習・達成目標

1) 国際社会が抱える諸課題について関心を高め，様々な資料を適切に収集，選択して多面的，多角的に考察し，その解決のための国際的な努力について理解する。(社)
2) インターネット，写真や統計資料等のメディアから，再生可能エネルギーとその性質，普及状況等について読み取り，内容を把握する。(社，技家)
3) エネルギー資源の種類とその利用方法とともに，再生可能エネルギーを含めた新エネルギー開発等を推進する必要性等について理解を深める。(技家)
4) 持続可能な社会をめざすために，これまで学んだエネルギー変換に関する技術を評価し，活用しようとする態度を身に付ける。(技家)
5) 持続可能な社会の構築のため生活を見直し，環境に配慮した消費生活を送るための考えをまとめる。(技家)
6) 様々な電気エネルギーの供給の仕組みと，それぞれの長所，短所を知り，自然環境や人間の生活に与える影響について考える。(理)
7) 新しく求められているエネルギー資源の条件と，その具体的な例を考える。(理)
8) 直列回路と並列回路の各部分にかかる電圧の測定を行い，電圧の規則性を見い出す。(理)
9) 電圧と電流の関係を見い出す。(理)

■ ナレッジウェブ

化石燃料，バイオ燃料，穀物，カーボンニュートラル，太陽電池，電圧，電流，発電効率等

－ ミッション１ －

■ ステートメント

いずれ枯渇することが分かっている，石油や石炭等の化石燃料から得たエネルギーに依存した社会から，遠い将来に渡って枯渇することがないエネルギーを利用する社会への移行に関心が寄せられている。このような再生可能エネルギーの活用や特性を調査し，地域での他のエネルギー源との共存を考える。

アクティビティコード:

It = 情報伝達　Co = コミュニケーション
Sw = シングルワーク　Tw = チームワーク
Pl = プランニング

■ 学習展開(例)

実行 1(Tw-2,3)： 15 分

再生可能エネルギーとは,「エネルギー源として永続的に利用することができると認められるもの」として法律で定義され，太陽光，風力，水力，地熱，太陽熱，その他の自然界に存在する熱やバイオマスが挙げられる。メディアを通じ，再生可能エネルギーから得た電力の買取制度について，1）なぜ普及しないのか，2）電力消費者にとってのメリットとデメリット，3）自治体が行っている支援策等について調査した結果をカードに記載し，グループで意見をまとめる。

http://www.nhk.or.jp/eco-channel/jp/energy [エネルギーについて考える - NHK]

http://www.nhk.or.jp/eco-channel/jp/energy/house.html [あなたも売ろう 再生可能エネルギー - NHK]

実行 2(Tw-2,3)： 15 分

青森県は，エネルギー分野でのポテンシャルが高く，地域経済の発展に役立てようとする動きがある。津軽地方と下北地方に分け，それぞれの地域のエネルギーの特性，今後の活用方針等を，県のホームページから読み取り，グループ内で情報をまとめる。

http://www.pref.aomori.lg.jp/sangyo/energy/strategy.html [エネルギー産業振興戦略ロードマップ – 青森県]

— ミッション 2 —

■ ステートメント

トウモロコシ等食用穀物をバイオ燃料に用いることで，穀物価格が上昇するといった問題があるものの，一方で，バイオ燃料の使用はカーボンニュートラルとされること，また化石燃料に比べ，排気ガス中の有害物質が少ないといったメリットがある。

このようなバイオ燃料のメリットとデメリットを念頭に置きながら，いくつかの植物油からバイオ(ディーゼル）燃料を生成する手順を考え，それを実行する。

コンピテンシーコード：

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

■ 学習展開(例)

実行 1(It,Tw-2): 15 分

動植物等から得られるバイオ燃料は，直接燃焼したり，ガス化/液化して利用する。地球温暖化対策，循環型社会の構築，農林漁村の活性化，地域環境の改善といった点がメリットとして挙げられる。メディアを通じその現状を観察し，1）バイオ燃料に使われる植物の特徴，2）地域社会へのメリット，3）デメリットの3点をカードに記載し，グループで意見をまとめる。

http://cgi4.nhk.or.jp/eco-channel/jp/movie/play.cgi?movie=j_shutonet_20120704_1960［注目の新バイオ燃料 ジャトロファ - NHK］

実行 2: 50 分

▽ 実験のポイント（It,Tw-1,2）

1) メタノール水溶液を植物油に混合する際，植物油を何℃に加熱したら良いだろうか。
2) バイオディーゼル燃料とグリセリンとをどのように分離したら良いだろうか。
3) バイオディーゼル燃料と不純物を含んだ水をどのように分離したら良いだろうか。
4) 分離作業で取り除けなかった水を蒸発させるには，バイオディーゼル燃料を何 ℃に加熱すれば良いだろうか。

▽ 利用可能な実験器具・試薬

スタンド，クランプ，ビーカー（100 mL），三角フラスコ（300 mL），ロート，メスシリンダ（100 mL），ピペット，洗浄瓶，ホットスターラ，マルチ化学センサ（温度測定），ステンレス温度プローブ，植物油，試薬（メタノール水溶液，水酸化ナトリウム）

▽ シナリオ作成（Tw,Pl-1,2）－上記各ポイントに対応（グループによって異なる）

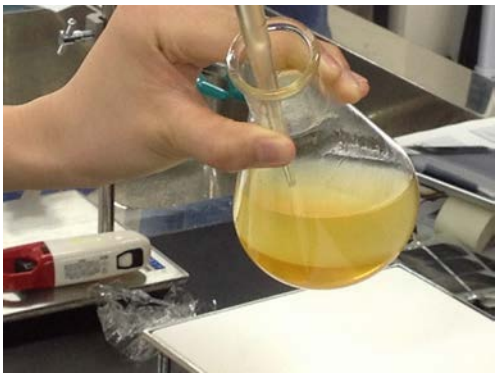
1) 混合中にメタノールが蒸発しないように，メタノールの沸点 65 ℃より少し下を目安に，植物油を加熱する。
2) この分離では，不要なグリセリンが下層になるため，ピペットで下層を吸い上げて取り除く。
3) この分離では，不要な水が下層になるため，ピペットで下層を吸い上げて取り除く。
4) 分離しきれなかった水は，バイオディーゼル燃料を 100 ℃に加熱することで，水を蒸発させる。

アクティビティコード:

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク

▽ 実験手順の実行（バイオディーゼル燃料の生成）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) 植物油 120 mL を量り，三角フラスコに入れる。
2) ヒーターのスイッチを入れ，65 ℃の少し下まで加熱する。
3) 加熱している植物油をスターラーでかき混ぜる。
4) メタノール水溶液 30 mL を量り，油の入ったフラスコの中に入れる。
5) 温かい油とメタノール水溶液がよく混ざり，反応が終了するまで 10 分ほど待つ。
6) 反応が終わったらヒーターを止め，フラスコを 10 分ほど静置する。
7) 上層（バイオディーゼル燃料）を下層（グリセリン）から分離し，別のフラスコに移す。
8) バイオディーゼル燃料と同量の温水を加えて，よくかき混ぜる。
9) 上層（バイオディーゼル燃料）を下層（不純物を含んだ水）から分離し，ビーカーに入れる。
10) バイオディーゼル燃料を加熱して水分を蒸発させる。
11) バイオディーゼル燃料と植物油の「粘り」「色」「匂い」を比較する。



— ミッション 3 —

■ ステートメント

このミッションでは，再生可能エネルギーの 1 つとして導入が進みつつある太陽光発電について取り扱う。太陽光発電に用いられる太陽電池は，その設置環境によって性能が大きく左右される。太陽電池の出力電圧の特性（角度，照度，面積の影響）を調べる実験の手順を考え，それを実行する。

■ 学習展開（例）

実行 1（It,Tw-2）：15 分

太陽光発電に用いられる太陽電池は，光のエネルギーを直接吸収し，そのエネルギーを「電子を押し流す力」として外に取り出す。メディアを通じ，太陽光発電の発電効率を上げるための試みを 3 点程度カードに記載し，グループで情報をまとめる。

コンピテンシーコード：

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

http://cgi4.nhk.or.jp/eco-channel/jp/movie/play.cgi?movie=j_ohayou_20120327_1831［加速する太陽光発電研究 - NHK］

実行 2：50 分

▽ 実験のポイント（It,Tw-1,2）

1) 太陽電池の出力電圧を，電圧センサを用いてどのように測定したら良いだろうか。
2) 太陽電池の角度と出力電圧の関係を調べるために，角度をどのように調節したら良いだろうか。
3) 光の照度と太陽電池の出力電圧の関係を調べるために，照度をどのように調節したら良いだろうか。
4) 太陽電池の面積と出力電圧の関係を調べるために，光が当たる面積をどのように調節したら良いだろうか。

▽ 利用可能な実験器具

スタンド，クランプ，太陽電池，リード線，白熱電灯，分度器，抵抗，ひも，おもり，厚紙，粘着剤，ものさし，マルチ理科センサ（照度，電圧測定），電圧プローブ

▽ シナリオ作成（Tw,Pl-1,2）－上記各ポイントに対応（グループによって異なる）

1) 太陽電池に負荷抵抗を接続し回路を作る。負荷抵抗の両端に電圧センサを取り付け，電圧を測定する。
2) 光源を固定し，太陽電池の角度をクランプを用いて調節しながら，出力電圧を測定する。角度はひもを中央にぶら下げた分度器を用いて測定する。
3) 光源に薄い紙を 1 枚，2 枚･･･と覆い隠していくことで，太陽電池の出力電圧の変化を測定する。
4) 太陽電池を直列に 2 枚並べ，厚紙を利用して電池表面を徐々に覆い隠していくことで，出力電圧がどのように変化するかを測定する。

▽ 実験手順の実行（太陽電池の角度と出力電圧の関係）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

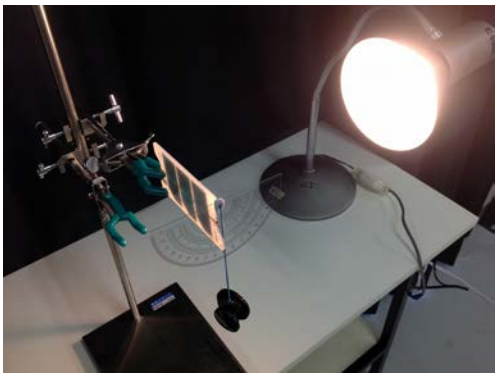
1) 太陽電池 1 枚を用意し，スタンドに取り付ける。
2) 太陽電池に光が直角（90 度）に当たるように光源をセットする。
3) 太陽電池に負荷抵抗を接続し，電圧センサを取り付ける。
4) どのような電圧-角度グラフが得られるか予想する。
5) 電圧データの測定を開始する。
6) 光源のスイッチを入れ，電圧が安定してから，測定値を記録する。
7) 太陽電池の角度をクランプを回転させることで調節し，再び測定値を記録する（80 度，70 度，60 度･･･と変化させる）。

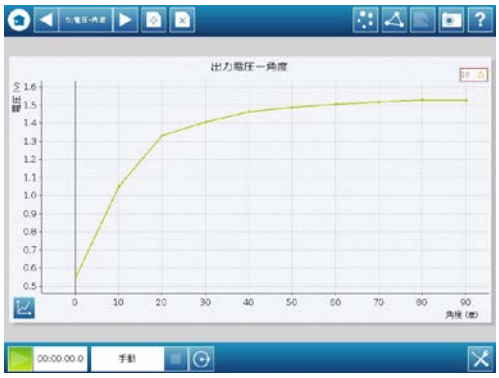
アクティビティコード：

It = 情報伝達　Co = コミュニケーション
Sw = シングルワーク　Tw = チームワーク
Pl = プランニング

8) 電圧と角度の関係を示す表が得られたら，測定を終了する。

9) 電圧と角度の関係をグラフ化する。





太陽電池の角度と出力電圧の関係

▽ 実験手順の実行（照度と太陽電池の出力電圧の関係）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) 太陽電池 1 枚を用意し，スタンドに取り付ける。

2) 太陽電池に負荷抵抗を接続し，電圧センサを取り付ける。

3) 太陽電池と光センサに，光が直角に当たるように光源をセットする。

4) どのような電圧-照度グラフが得られるか予想する。

5) 光源に薄紙を 1 枚かぶせ，スイッチを入れる。

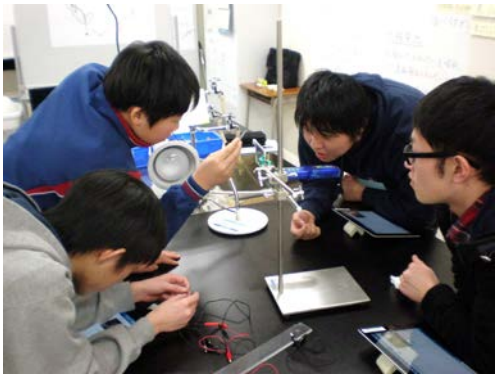
6) 電圧と照度データの測定を開始する。

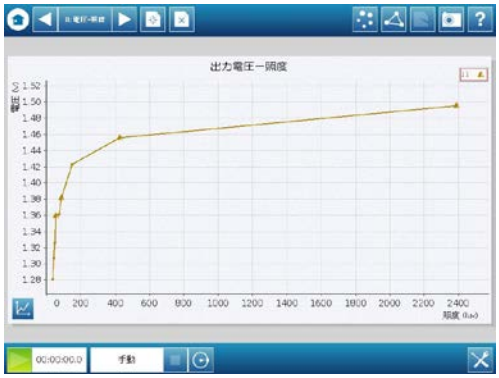
7) 電圧と照度の値が安定してから，測定値を記録する。

8) 薄紙を 2 枚，3 枚･･･と増やし，それぞれ電圧と照度を記録する。

9) 電圧と照度の関係を示す表が得られたら，測定を終了する。

10) 電圧と照度の関係をグラフ化する。





照度と太陽電池の出力電圧の関係

コンピテンシーコード:

1. 創造性･イノベーションスキル
2. 協働性･コミュニケーションスキル
3. メディア･情報リテラシー
4. 科学的スキル

▽ 実験手順の実行（太陽電池の面積と出力電圧の関係）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) 太陽電池 2 枚を用意し，直列にして光源の下に置く。

2) 太陽電池に負荷抵抗を接続し，電圧センサを取り付ける。

3) 光源のスイッチを入れる。

4) 電圧データの測定を開始する。

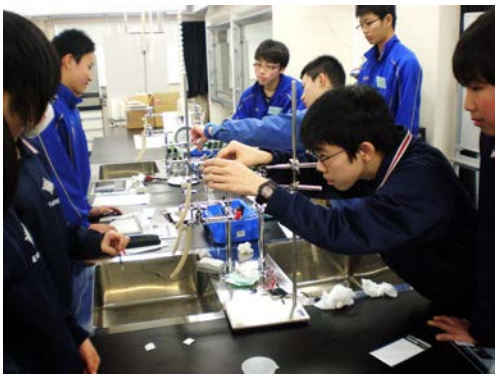
5) 電圧が安定してから，測定値を記録する。（セルの数と電圧の両方を記録）

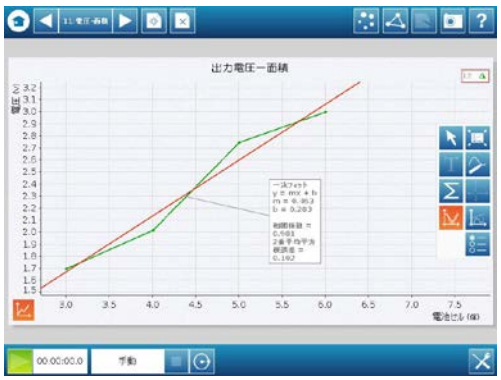
6) 厚紙を使い，太陽電池の 1 つのセルを覆い，残ったセルの電圧を記録する。

7) 太陽電池の 2 つのセルを覆い，残ったセルの電圧を記録する。（この作業を繰り返す）

8) 電圧とセルの数（面積）の関係を示す表が得られたら，測定を終了する。

9) 電圧とセルの数（面積）の関係をグラフ化する。





太陽電池のセルの数（面積）と出力電圧の関係

測定結果を基に，次の点を考えてみる。

- 太陽電池の角度が光源に対して水平になるにつれ、出力特性はどのように変化しただろうか。
- 照度が下がるにつれ、太陽電池の出力特性はどのように変化しただろうか。
- 太陽電池の面積が小さくなるにつれ、出力特性はどのように変化しただろうか。

― 学習のまとめ ―

エネルギー資源，枯渇，持続的な社会，化石燃料，再生可能エネルギー，バイオ燃料，穀物価格，太陽光発電，出力特性等の学習した事柄を用いて，得られたこと，考えさせられたこと，そして思い付いたことをまとめる。

［それぞれのミッションで使用したメディア画像は著作権の理由から，掲載していない］

アクティビティコード:

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク

7.5 動植物の呼吸と光合成，二酸化炭素濃度

■ 横断する教科

理科，社会，技術，家政

■ 学習・達成目標

1) 国際社会が抱える諸課題について関心を高め，様々な資料を適切に収集，選択して多面的，多角的に考察し，その解決のための国際的な努力について理解する。(社)
2) インターネット，写真や統計資料等のメディアから，世界人口の増加，食料生産，森林伐採，炭素循環等について読み取り，内容を把握する。(社，技家)
3) 持続可能な社会の実現に向けて，生物育成技術の果たすべき役割について理解を深める。(技家)
4) 持続可能な社会の構築のため生活を見直し，環境に配慮した消費生活を送るための考えをまとめる。(技家)
5) 葉の働きについて理解し，植物のからだの各部分を，光合成，呼吸，蒸散と関連付けて捉える。(理)
6) 光合成の仕組みを理解する。(理)
7) 自然界のつり合いを理解し，自然環境を保全することの重要性を認識する。(理)
8) 自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について科学的に考察する。(理)

■ ナレッジウェブ

人口増加，森林面積，動植物，呼吸，光合成，蒸散，化石燃料，二酸化炭素濃度，炭素循環

ー ミッション 1 ー

■ ステートメント

二酸化炭素の排出制限は，各国の政策や思惑の違いによって，多くの場合一致した取り組みが困難であるといえる。メディアを利用し，いくつかの国の排出量の削減に関わる先進的な取り組みや研究を調査し，それを考察する。

■ 学習展開(例)

実行 1(It,Tw-2,3)： 15 分

大気中の二酸化炭素濃度は，産業革命以降上昇し続けていることが広く知られている。その情報源をたどり，どのような機関によって研究がなされ，各国はどのような取り組みを始めようとしているのか調査する。

コンピテンシーコード:

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

http://www.nhk.or.jp/eco-channel/jp/history/theme/04.html [テーマから学ぶ環境問題 - NHK]

http://www.env.go.jp/earth/index.html [地球環境・国際環境協力 - 環境省]

http://www.data.kishou.go.jp/climate/index.html [地球環境・気候 - 気象庁]

実行 2(It,Tw-2,3): 15 分

二酸化炭素に関わるビジネスや技術開発の例を調査し，生活に与える影響（メリット，デメリット）を考察する。

http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku/detail_3365.html [二酸化炭素が資源に 夢の人工光合成 - NHK]

http://cgi4.nhk.or.jp/eco-channel/jp/movie/play.cgi?movie=j_ohayou_20101208_0814 [CO_2排出量取引で森林保護を - NHK]

— ミッション 2 —

■ ステートメント

すべての動植物は呼吸をすることによって大気中に二酸化炭素を放出する一方で，植物に限っては，光合成をすることで二酸化炭素を吸収する役割も担う。この放出と吸収のバランスが保たれることで，大気中の二酸化炭素濃度はある程度一定で推移してきた。しかしながら，人口増加に伴う森林面積の減少，また特に産業革命以降，化石燃料の消費が急速に伸びたことで，大気中の二酸化炭素濃度が上昇してきた。

大気中の二酸化炭素濃度に影響を与える，植物による二酸化炭素の吸収量は，さまざまな環境条件によって左右される。このミッションでは，光の照度を変化させることで，植物が入った閉じた空間での二酸化炭素濃度の変化を測定し，どのように放出と吸収のバランスが保たれるのかを調べる実験を考え，それを実行する。

■ 学習展開(例)

実行 1: 50 分

▽ 実験のポイント（It,Tw-1,2）

1) 実験ではどのような植物を使用したら良いだろうか。

2) 光の照度をどのように調節したら良いだろうか。

3) 植物を入れる容器内の二酸化炭素濃度をどのように測定したら良いだろうか。

アクティビティコード:

It = 情報伝達
Sw = シングルワーク
Pl = プランニング
Co = コミュニケーション
Tw = チームワーク

▽ 利用可能な実験器具

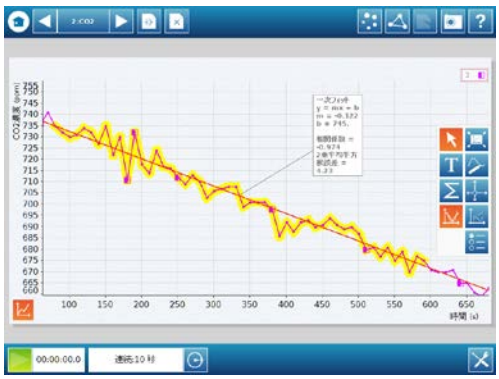
スタンド，クランプ，ビーカー（200 mL），ゴム栓，アルミホイル，透明容器，植物，蛍光灯，マルチ理科センサ（照度測定），二酸化炭素センサ

▽ シナリオ作成（Tw,Pl-1,2）－上記各ポイントに対応（グループによって異なる）

1) 実験では，蛍光灯を用いて一方向から光を照射するため，できるだけ葉の面積が広い植物を用いる。
2) 照度は，光源と植物の距離によって調節する。暗室状態は，アルミホイルで容器を包むことで，光の当たらない状態を再現する。
3) 植物の入っていない容器上部に二酸化炭素センサを差し込み，その状態を 400 ppm とし校正する。その後植物を入れ，それぞれの照度ごとに，二酸化炭素濃度の変化を測定する。

▽ 実験手順の実行（植物の光合成速度の測定）（Tw-2,4）（グループによって異なる）

1) 透明容器に植物を入れる。
2) 二酸化炭素センサを容器上部に取り付ける。
3) 容器の周りをアルミホイルで覆う。
4) 濃度変化を示すグラフを予想する。
5) 二酸化炭素センサの校正をする。
6) 濃度データの測定を開始する。
7) 5 分程度測定したら停止ボタンを押し，アルミホイルを外す。
8) グラフの傾きを求め，容器内の濃度の変化率（CO_2 ppm/sec）として記録する。
9) 照度を変え，同様の作業を繰り返す。
10) 測定結果を用いて，光合成速度を算出する。
11) それぞれの測定環境における照度を測定する。
12) 光合成速度-照度グラフを作成し，光補償点を求める。



容器内の植物に光を当てた時の CO_2 濃度の変化

コンピテンシーコード：

1. 創造性・イノベーションスキル
2. 協働性・コミュニケーションスキル
3. メディア・情報リテラシー
4. 科学的スキル

光合成の化学反応式は次のように示すことができる。実験で得られた光合成速度を用いて，1 時間で光合成によって生成されるグルコースと酸素の量（g）を計算によって求める。（変換効率は 100 %とする）

$$6CO_2 + 12H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

二酸化炭素　水　グルコース　酸素　水

― 学習のまとめ ―

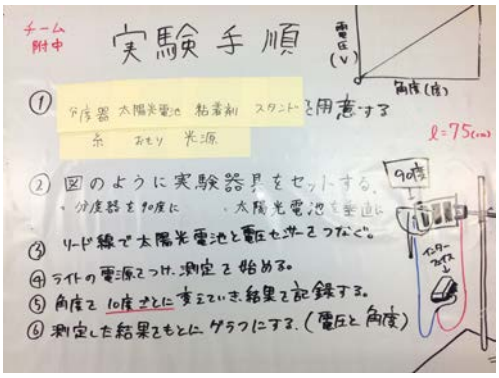
産業革命，化石燃料，世界人口の増加，二酸化炭素濃度，呼吸，光合成，光合成速度，人口光合成，光の強さ等の学習した事柄を用いて，得られたこと，考えさせられたこと，そして思い付いたことをまとめる。

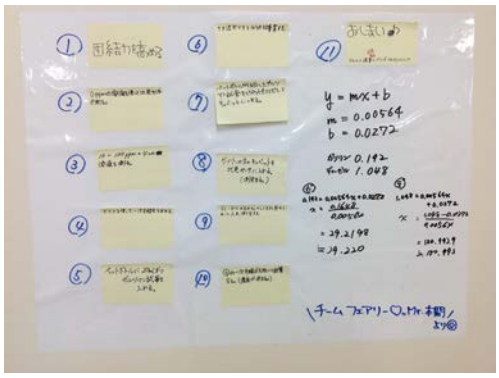
［それぞれのミッションで使用したメディア画像は著作権の理由から，掲載していない］

参考までに，実験手順の構築には生徒の習得レベルに応じた指導が求められるが，本実践では次の 3 通りの構築方法をもって，そのレベルに合わせるよう工夫することができる。構築のための時間に余裕が無い場合には，適宜方法を変更することも考えられる（後述される 2013 年度研修会は，教員向けとして方法 1 が適していたものの，時間の関係から方法 2 を用いた）。

方法 1：

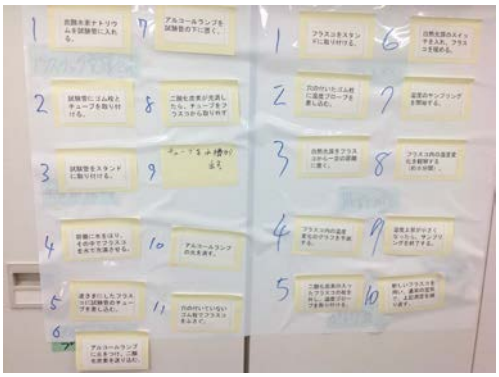
仮説から始まり，使用する器具，組み立て，手順等，生徒自身が全ての事案をグループ内の協働作業を通じ構築し，それを実行する。





方法 2 :

使用する器具とその組み立てはあらかじめ示しておき，手順を任意に配列したカードを配布，もしくは情報端末に配信することで，それをグループ内で並べ替え，実行に移す。



方法 3 :

方法 2 同様，使用する器具とその組み立てはあらかじめ示す。正しい手順のいくつかの項目を空欄にしておき，どのような作業を行えば良いかをグループ内で考え，それを実行する。

第4章

外部支援による実地検証

－ アウトリーチ活動 －

8 節 － 検証のためのアウトリーチ活動
9 節 － 実施結果の詳細と分析

2012～2013 年に渡り，外部法人，団体の資金的支援を受け，中学・高校生向けの実験講座，および教員向けの研修会を開催した。主な目的としては，青森県内の生徒に 21 世紀の課題とデジタルセンサの活用を主体とした科学学習の場を提供することにあった。それに併せ，学習展開の有効性を確認し，改善を行うことで，教育現場での導入を図れる程度まで内容を精査することとした。生徒が記載した感想文の分析によれば，事物現象の認識，そして自己の動機付けといった点で優れた結果を示したが，科学の持つ価値観や有用性といった点での記述は前者と比較し低い水準におさまった。教員向けの研修会においては，開発された学習展開を，青森県内で広く認識してもらう機会として捉え，その伝達に力を入れた。研修会を通じ教員からアンケートや意見の収集を行った結果，学習の内容，構成，その教科横断性といった点で概ね良好という感想を受け，さらにキャリア教育やグローバル課題への関連付けも評価できる点として挙げられた。一方で，カリキュラムの再編成や情報機器の導入といった点で，現実問題として困難が伴うことも指摘を受けた。

8 検証のためのアウトリーチ活動

本研究では，理論的な学習展開の開発とともに，教育現場でのその導入を目指し，検証作業を行ってきた。提案された学習展開の有効性や実現可能性を確認するために，いくつかの外部機関（法人，団体）の支援，助成を受け，青森県内で実験講座および研修会を実施し，意見集約を図った。2012 年度は，中学・高校生を中心に，ファシリテーション，アイデアの視覚化，課題解決，実験手順の構築，情報端末の利用といった，新しい要素がどの程度受け入れられるかを確認した。また，2013 年度は，理科教員とともにその他教科（技術，社会，数学等）の教員も併せ，学習展開を教育現場の視点から評価してもらう場を設けた。本節では，それぞれの助成内容についての概観ならびにその実施内容の詳細を記す。

事業支援の一覧は以下の通りである。

表 8-1: 2012 年度および 2013 年度事業支援

支援期間	外部支援，助成機関	事業名	活動，研究名称
2012 年 5 月～2013 年 3 月	独立行政法人 科学技術振興機構	科学技術コミュニケーション推進事業	デジタルセンサを使って，21 世紀の課題に挑戦しよう～化学の探求とコミュニケーションスキルを中心に～
2013 年 4 月～2014 年 3 月	公益財団法人 むつ小川原地域・産業振興財団	むつ小川原地域プロジェクト支援事業	21 世紀の課題を取り入れた中学校教員向け科学実験講座
2013 年 4 月～2014 年 3 月	日本教育大学協会	日本教育大学協会研究助成	21 世紀の課題を取り入れた中学校教員向け STM 教授法の開発

8.1 科学技術コミュニケーション推進事業

事業の概要

事業支援：	独立行政法人 科学技術振興機構 「科学技術コミュニケーション推進事業」
活動名：	デジタルセンサを使って，21 世紀の課題に挑戦しよう ～化学の探求とコミュニケーションスキルを中心に～
支援期間：	2012 年 5 月～2013 年 3 月
支援額：	約 1,300,000 円（間接経費込）
実施責任者：	伊藤 成治（教育学部 学部長）
主担当者：	長南 幸安（教育学部 理科教育講座 教授）
副担当者：	島田 透（教育学部 理科教育講座 講師）
企画兼講師：	本間 正範（教育学研究科）

JST（科学技術振興機構）の科学技術コミュニケーション推進事業は，第 4 期科学技術基本計画に基づき，国民の科学技術リテラシーを高めるとともに，国民の科学技術に対する理解，信頼と支持を得ることができるように，多様な科学技術コミュニケーション活動を推進することを目的とした事業である。年々，予算規模と採択件数が縮小傾向にあり，2010 年度 108 件，2011 年度 103 件，2012 年度 46 件，2013 年度 19 件の採択状況となっている [科学技術振興機構, 2012]。

科学，産業関連の社会教育施設に恵まれない地方都市の市民，生徒にとって，大学等組織を地域の中核として開催することのできる本推進事業の意義は大きく，また，実施効果も高いことから今後の予算確保が望まれる。

以下に実施日程ごとの要点を示す。

表 8-2: 科学技術コミュニケーション推進事業 実施日程

回	実施日	学習テーマ（21 世紀の課題）
第 1 回	2012 年 9 月 23 日	地球の環境温度の変化と氷の融解の関係 *温室効果ガスの増加により地球気温が上昇することを明らかにするための実験を考え，それを実行する。他*
第 2 回	2012 年 11 月 3 日	気候変動や灌がいの水サイクルに及ぼす影響 *気圧/温度の関係，また塩分濃度/電極電圧の関係を明らかにするための実験を考え，それを実行する。他*
第 3 回 第 4 回	2012 年 12 月 16 日 2013 年 1 月 13 日	化石燃料消費と光化学スモッグ，酸性雨の関係 *大気中や自動車の排気ガス中の窒素酸化物の濃度を測定するための実験を考え，それを実行する。他*
第 5 回	2013 年 2 月 2 日	再生可能エネルギーの特性とその利用 *太陽電池の出力電圧の特性（角度，照度，面積等の影響）を調べる実験を考え，それを実行する。他*

活動への参加対象者は，当初弘前市およびその近隣市町村の中学生としていたが，第 3 回以降は高等学校からの参加要望を受けたことから，中学・高校生向けの実験講座と改めた。参加生徒の募集に際しては，各学校を訪問または電話にて，活動の説明を行い，参加を促した。学校行事としての参加形態であると，引率者をあてなければならないということで，多くの学校では，生徒の自主的な参加という形態がとられた。

対象者： 弘前市/近隣市町村の中学・高校生

参加校： 弘前市立 第三中学校 / 第四中学校 / 第五中学校
黒石市立 黒石中学校
五所川原市立 第三中学校
弘前学院 聖愛中学高等学校
国立大学法人 弘前大学教育学部附属中学校

実施場所： 弘前大学 教育学部

実施時間： 午前 3 時間/午後 2.5 時間

URL： 事業説明
http://www.jst.go.jp/csc/sciencecommunication

活動報告

http://www.jst.go.jp/csc/sciencecommunication/pdf/2013/02/240027.pdf

グループ構成：　生徒 4 人前後×5 グループ

参加者構成：

	中学校			高等学校			人数
	1 年	2 年	3 年	1 年	2 年	3 年	
男子生徒人数	12	10	23	5	7	0	57
女子生徒人数	0	3	12	15	3	1	34
（表示は延べ人数）							91

ファシリテータ：1 グループに 1 人（大学学部生，院生）

学部，研究科	課程，専攻	人数
大学院 教育学研究科	教科教育専攻（理科教育，化学）	2
	学校教育専攻（学校経営）	2
教育学部	教員養成課程（小，中学校教育）	4
	〃　（教科教育 - 理科，化学，技術）	4
	生涯教育課程（地域生活）	1
理工学部	地球環境学科	1
	計	14

企画の全体構想

人間は五感を通じ，私たちが日々の生活を送るために必要な情報を瞬時に捉える能力を持っている。より生活の質を高め，生産性の向上を図るために，この五感では捉えることのできない現象を計測するためのデジタルセンサが開発されてきた。本企画は，このようなデジタルセンサを活用し，科学実験において，コミュニケーションを重視したプロジェクト，課題解決型の実験講座を行う。また，それぞれの活動では，協働性/創造性スキルといった主要なキーコンピテンシーを 21 世紀型スキルと題し，デジタルセンサを主体とした ICT 機器を効果的に適用することで，生徒自身が独創的なアイデアを生み出すための工夫がなされている。

目 的

本企画では，デジタルセンサを主体としたICT機器を活用し，弘前市およびその隣接市町村の生徒が21世紀に求められるスキル（キーコンピテンシーや科学的リテラシーを軸としたスキル）を習得するための，生徒主体の科学コミュニケーション活動を行うことを目的としている。

使用する主なデジタルセンサは，pHセンサ，温度センサ，電圧センサ，圧力センサ，比色センサ，酸素センサ等である。これらの多くは，パソコン，冷蔵庫，洗濯機，掃除機等の日用品から，自動ドア，エレベータ，自動改札，自動車，航空機といった産業製品にいたるまで，あらゆる分野/環境において利用され，生徒は日頃から恩恵を受けているが，科学に関連付けた形でその役割や機能について学ぶ機会はほとんどない。

デジタルセンサとは「人間が，科学現象を体感し，より探求的になるために必要な，五感の延長線にあるデバイス」，言い換えると「五感の限界を超え，より人間の体感領域を広げることができるデバイス」と捉えることができる。即ち，学習指導要領で掲げられている「体感する」という理念は，生徒の五感のみでは感じ取ることのできない現象をデジタルセンサを用いてリアルタイムに体感し，観察することにより，より充実した形で達成できるといえる。

また，近年，情報通信およびそれに関連した技術革新が急速に進む中，ICT 機器を教育活動に関連付けることは，教育の近代化のみならず，探求型，課題解決型の実験とともに，双方向のコミュニケーションを達成するためのツールとしてもその必要性が高まってきている。本企画では，これら実情を踏まえ，人間が生まれながらに備え持つ五感とともに生徒の体感領域を広げるためのデジタルセンサを用いて，課題解決型，コミュニケーション重視の実験講座を行う。

目 標

弘前市およびその隣接市町村の中学生が，最新のデジタルセンサを活用した探求型実験を行うための技量を身に付けることで，地域独特の課題をコミュニケーションを通じ解決し，21世紀型スキルを中心に据えた地域経済の発展に寄与するための能力を身に付けることを，上位の目標とする。

高度情報化，知識基盤社会において，日常生活での体験を通して得られる潜在的知識は，コミュニケーションと協働作業を通じ，議論/推論し，論理的にまとめ発表することにより，実社会で応用の利くものに発展させる（価値を高める）ことができる。このようなプロセスに必要な能力は,キーコンピテンシーとして4つのカテゴリーから成り，21 世紀型スキルを構成する。生徒主体の活動とコミュニケーションを通じ，具体的な課題と文脈を設定した上で，このようなスキルをデジタルセンサおよびそれに関連したICT 機器を用いて，生徒が習得できることを目標としている。

期待される効果

21 世紀型スキルを習得することは，将来，生徒が企業等での社会生産活動もしくは大学や研究機関での研究活動に従事し，プロジェクトや課題に直面した場合，それらを解決するために，単に手中の知識を適用するのではなく，グループ内でコミュニケーションを通じ新しく独創的なアイデアを創造していくためのプロセスを描くことにつながる。このようにして生まれた独創的アイデアによって，イノベーションが生まれ，将来の地域社会の持続的な経済成長を促進するともに，社会発展によって得られた利益（それは人的資本でも財的資本でもあり得る）は教育に還元（フィードバック）されることが望まれる。したがって，このプロセスにおける教育の意義，そして教育によって創造される生徒の知識とアイデアは，継続した良い循環を生み出すための原動力（Driving force）と位置付けることができる。

学校の科学実験においては，上記 21 世紀型スキルは，特に「自然に対する関心を高め，目的意識をもって観察，実験等を行い，科学的に調べる能力と態度を育てるとともに自然の現象についての理解を深め，科学的な見方や考え方を養う」という学習指導要領内での主要な目標達成のための一助となり，生徒の学習意欲向上にもつながる。

特 徴

実社会において求められる，21 世紀型スキルの 1 つである「コミュニケーションスキル」は，多様な背景を持った人間間や異なる年齢間においても，自身の見方，考え方を論理的に主張できることであるといえる。したがって，本企画におけるグループ活動は，日頃の授業では体験することのできない，異なる地域，異なる学年層（1～3 年生）の生徒，そしてファシリテータ（大学生 TA 等）をグループとして編成することで，実社

会を模擬した形のコミュニケーションの場を提供する。

科学的なコミュニケーションの 1 つのきっかけは，科学現象の変化を直に観察し，アイデアを生み出し，それを共有化することによって始まる。単に観察するだけではなく，それを定量的にデータ化（グラフ，表等のフォーマットを用い）することにより，より創造的で独創的なアイデアが生まれ，また現象の予想や実証といった作業にもつなげやすい環境となる。現在の学校における実験ではアナログ計測機器が中心であるために，このようなデータ化までの作業に必要以上に多くの時間を費やす傾向であることが 1 つの弱点として挙げられるが，本企画においては，デジタルセンサを用いることで，科学現象をリアルタイムに視覚化/共有化し，その前後のより重要なコミュニケーションを通じた作業に多くの時間を費やす形式をとる。

問題分析と解決のための有効な手段としては，国際協力，開発分野で用いられている PCM（Project Cycle Management）手法を活用するとともに，生徒の問題解決能力と知識創造プロセスを段階ごとにポートフォリオを用いてデータベース化を図りながら，評価，検討，実施の改善サイクルを一連の実験講座に適用する。この PCM では，それぞれの生徒をステークホルダ（受益者）として捉え，プロジェクト（ここでは実験課題）に率先して参加してもらうことが大きな特徴であり，また，自身の見方，考え方を目に見える形で表現することで他人と共有し，プロジェクト達成に向けて意識の共通化を図ることができる。

この他，現在の指導案や実験テキストの多くにおいては，あらかじめ学習すべきストーリーや到達までのプロセスが予め設定されているために，場合によっては知識創造の過程にある生徒の自主発展性を損なうことになる。本企画では，生徒は，PCM によるポートフォリオ効果により，今現在自身の知識レベルがどの段階にあるのかを把握しつつ，また過去の学習経験を常に確認/改善し，次のステップ（テーマ，課題）を自ら模索し挑戦する機会を得ることになる。したがって，実験内容はあらかじめ到達までのストーリーが設定されたものではなく，可能な限り生徒自身が率先して次の足場を組み（Scaffolding），準備をし，取り組みを進めることを，TA がファシリテートすることで成り立つ。

企画の達成度（事後評定）

達成項目	結果
1）弘前市およびその近隣市町村からの中学生の参加を図る	・ 弘前市，黒石市，五所川原市の3市の中学生が参加した。 ・ 中学生とともに，高校生の参加も受け入れた。 ・ 多様な学種（公立，私立，国立）の生徒が参加した。 （科学体験へのアクセスがより少ない町や村の生徒の参加を促すことができなかった点を要改善）
2）デジタルセンサを活用した探求型実験を行うための技量を身に付ける	・ 生徒が情報端末やセンサを扱う様子から，1日の講座の早い段階でその基本操作を習得したと目視にて判断した。 ・ 各ミッションにおけるセンサの役割を理解し，活用できていることを目視にて判断した。 ・ センサの取扱いに慣れ始めると，実験中にどのようにセンサを使えば良いかを自ら考え始める生徒も見受けられた。
3）地域独特の課題を双方性コミュニケーションを通じ解決する 4）21世紀型スキル（キーコンピテンシ）を中心に据えた地域経済の発展に寄与するための能力を身に付ける	・ 21世紀の課題は地域の暮らしにも影響を与えていること（気候変動や干ばつによる食物価格上昇，越境汚染による光化学スモッグの発生等）について，参加者91人中82人が事後アンケートで「社会の中で，科学が果たす役割を自分なりに考えることができた」と回答した。 ・ 事前調査にて以下のスキルに関し，生徒は不得意領域であることを自己評価していた。 ✓ さまざまな新しいアイデアを取り入れたり，生み出したりすることができる。 ✓ 自分の考えを他人に伝え，理解させることができる。 ✓ 疑問に思った点は，聞く人にわかりやすいように質問することができる。 ・ しかしながら，講座中の生徒の様子を観察する中で，ICTの利用や課題解決のための協働作業をグループで実施すると，このような点はむしろ得意とする部類に入るのではないだろうかと感じるほどであった。

	・ 学校でのグループワーク自体が少ないためか不明だが，提案された学習展開では，グループでのディスカッションや実験の組み立て等，互いに相談しながら率先して取り組んでいる様子を確認することができた。ただ，環境に左右されるのだろうか，異なる立場（特に異なる学校）のメンバーが混在している時には，若干不得意傾向が見受けられた（講師やファシリテータの力量不足を考慮して，この点を要改善）。（参加した参加者91人中83人が事後アンケートで「グループワークを普段の授業でもやってみたい」と回答） ・ 参考までに，事前調査にて以下のスキルに関し，生徒はすでに得ているものとして自己評価をしていた。 ✓ 身近な小さな問題は，地球的スケールの問題につながっていると思う。 ✓ テレビやインターネット等の情報には，モラルやプライバシーが関わっていると思う。 ✓ 実験を行う時には，どのような結果を得たいのか予想してみると良いと思う。 ✓ どのような実験も，身の回りの現象を理解するために必要だと思う。

企画の結果，成果等

期待された効果	結果，成果等
1）プロジェクトや課題に直面した場合，それらを解決するために，単に手中の知識を適用するのではなく，グループ内でコミュニケーションを通じ新しく独創的なアイデアを創造していくためのプロセスを描く	今回取り入れた手法としては，メディアを通じて生徒に課題提示をし，その課題を解くためのヒントを与えた上で，グループごとに実験の手順を構築するものであった。上記重複するが，事前調査で「自分の考えを他人に伝え，理解させることができる」と回答した生徒が少なく協働作業が不得手と思われたものの，カードを用いて自分のアイデアを書き出していくことで，グループ内でのディスカッションを進めやすくなったものと思われる。完成した実験手順（課題解決方法）はそれぞれが独創的なものであった。また，それを他のグループに使ってもらうという責任を同時に与えたことは，自身の意思を他人に明確に伝えるというスキルを意識してもらえたものと思う。

2)「自然に対する関心を高め，目的意識をもって観察，実験等を行い，科学的に調べる能力と態度を育てる」という学習指導要領内での主要な目標達成のための一助となり，生徒の学習意欲向上につながる	事後アンケートにて，参加者91人中76人が，「自然や科学技術に対する興味が更に高まった」とし，「興味を少し持った」という回答も合わせると参加者の大多数が肯定的であった。また，「しっかりとした科学的根拠を用いて実験の結果を得ることができて自分でもすごく納得が言ったし自信にもなった」という感想があったことからも，左記期待された効果を達成することができたといえる。
3) 企画の効果が一過性に終わることのないよう，参加した生徒が所属する学校への訪問を通じ，参加できなかった生徒向けに企画終了後同様の実験教室を実施できる環境を作り，広く地域社会へ還元できるものとする	次年度以降は，今年度の実験講座で蓄積したノウハウを生かし，教員向けの研修会を実施する方向で進めている。講座の運営において，参加できなかった生徒向けに，当初予定していた開催回数を4回から5回に増やすことで対応したものの，人員不足や日程の都合もあることから，研修会にて同様の取り組みを教員に伝達することで，ぞれぞれの学校で実践してもらい，地域社会への還元につなげたいと考える。
4) 講座を実施することで，参加した生徒が将来の社会生活を改善するための主体的な行動へ寄与すること	生徒感想において次のような記述があったことから将来を期待したい。「まだ世界にはいろんな問題があると思いますが，私たちが今やれることから少しずつ行動を起こしていきたいです」「再生可能エネルギー技術の改良に，小さなことでもいいから携わってみたい」「その技術を使って，世界のエネルギーの常識を，変えることができたらいいなと思う」「今日学んだことを活かして，これ以上問題を増やさないように，自分でも行動し，他の人にも呼びかけていきたいと思いました」

今後の取り組み

参加校は全 7 校，参加者数延べ 91 人となり，科学館等の社会教育施設に恵まれない弘前市およびその近隣に在住の中学・高校生にとって，科学と社会のつながりを知る上で良い機会になったということが，生徒の感想から伺えた。このような地域での教育系大学の役割は，教員養成のみならず，地域住民の科学認識向上のための教育活動も含まれていることを改めて知ることができた。しかしながら，波及効果といった観点から，今後は，面での展開が望まれる。

将来，青森県の地域経済を担う生徒達に幅広くこのような取り組みの受益者になってもらうには，各学校での実践が必要であることから，次年度は各教育地区にて教員向けの研修会を催すことができないかを検討している。もしくは，今年度のように弘前大学のみを会場とした講座ではなく，市民センターや公民館等，市民の集う場所での開催も検討することができればと思う。いずれにしても，企画，財源，人員，そして学校や教育委員会の協力，この 4 点が揃わなければ実行できないものであるため可能な限りの手を尽くしたい。

8.2 むつ小川原地域プロジェクト支援事業

事業の概要

事業支援：	公益財団法人 むつ小川原地域・産業振興財団 「プロジェクト支援事業」
活動名：	21 世紀の課題を取り入れた中学校教員向け科学実験研修会
助成期間：	2013 年 4 月～2014 年 3 月
助成額：	1,000,000 円（事業総額 1,250,000 円の 4/5）
実施代表者：	伊藤 成治（教育学部 学部長）
実施責任者：	長南 幸安（教育学部 理科教育講座 教授）
企画兼講師：	本間 正範（教育学研究科）

むつ小川原地域・産業振興財団は，青森県内の市町村，産業団体等が行う地域の活性化や産業の育成，近代化に関する調査研究，プロジェクトの実施に必要な資金の助成

を行っている。2013 年度は 140 団体が支援を受け，その助成額はおおよそ 40～300 万円の範囲におさまる。プロジェクトの対象となる事業は次の通りである。

表 8-3: プロジェクト支援事業の対象

1）人材育成	人材の企業体等への派遣，先進地視察研修，講師の招へいによる講習会の開催等，地域活性化に貢献できる優れた人材の育成，確保に関する事業
2）技術開発	地域産業の振興に必要な栽培，採集，加工等の技術の開発，改良に関する事業
3）商品開発	地域内の未利用資源の活用や新たな素材等の導入による新商品の開発と起業化に関する事業
4）市場・販路開拓	市場調査，PR 活動等地域特産物の需要拡大，販路の開拓，拡大に関する事業
5）観光開発	自然景観，文化遺産，郷土料理，芸能等観光資源の発掘，広域的観光ルートの開発および観光客の受入れ体制の整備等観光開発に関する事業
6）環境整備	まちなみの整備，シンボル施設の設置等快適な生活環境の創出と地域のイメージアップにつながるアメニティ施設の整備に関する事業
7）スポーツ・文化交流	地域の活性化につながる国内外のスポーツ，文化交流に関する事業
8）その他	1）～7）以外で地域の活性化および産業の育成，近代化に寄与する事業

[むつ小川原地域・産業振興財団, 2012]

本活動では，前述のテーマのもと，1）人材育成事業の一環として支援を受けることになった。採択理由としては，各教育地区を管轄する教育委員会と連携を図りながら，現場教員の研修を行うということで，その波及効果が期待できるということであった。以下に実施日程ごとの概略を示す。

表 8-4: プロジェクト支援事業実施日程

実施日	学習テーマ（21 世紀の課題）
2013 年　7 月 22 日	大規模農業による灌がいと水資源
7 月 23 日	【実験項目：塩分濃度と電極電圧の測定】
8 月 5 日	地球の気候変動と海面上昇
8 月 6 日	【実験項目：環境温度と物質の融点の測定】
12 月 26 日	森林面積の減少と化石燃料の消費
2014 年　3 月 2 日	【実験項目：植物の呼吸と光合成速度の測定】
3 月 14 日	

研修会の対象者は，県内中学校の教員という広い枠組みとし，理科担当に限定することはしなかった。それは，提案される学習展開は，メディアの利用を含めた教科横断型の学習であるため，異なる教科の教員にも研修を受けてもらい，多様な意見を集約することで，精度の高い検証が可能であると思われたからである。

対象者： 青森県内中学校教員

所属先： 1）八戸市中学校理科教育研究会
2）八戸市中学校視聴覚教育研究会
3）弘前市中学校教育研究会（視聴覚部会）
4）弘前市中学校教育研究会（理科部会）
5）北五地域中学校教育研究会（理科部会）
6）青森市中学校教育研究会（理科部会）
7）十和田市中学校教育研究会

実施場所： 八戸市総合教育センター，八戸市立第一中学校，弘前大学教育学部附属中学校，弘前大学教育学部，五所川原市立第一中学校，青森市立古川中学校，十和田市立十和田湖中学校

実施時間： 2～5時間（但し，十和田市実施分は通常の授業時間を用いたため1時間のみ）

URL： 事業説明
http://www.jomon.ne.jp/~mozaidan/oubo.html

グループ構成： 1 グループ 2～3 人

参加者構成：

担当教科	理科	技術家庭	数学	国語	社会	英語	音楽美術	保健体育	不明	計
人数	62	10	7	1	3	7	4	2	2	98

ファシリテータ：1 会場につき 1～2 人（大学学部生） *複数回参加

学部，研究科	課程，専攻	人数
教育学部	教員養成課程 教科教育 – 理科教育（化学分野）	2
	教員養成課程 教科教育 – 技術教育	1*

企画の全体構想

地域経済の活性化のためには，21 世紀のグローバルな課題を常に意識し，その中で地域社会がどのような立場におかれ，どのような方法によってそれらを解決することができるか，自らの能力によって模索し導き出すことが求められている。その能力は，「創造性」「協働性」「コミュニケーション」「情報リテラシー」「科学的思考スキル」といったキーコンピテンシーによって構成され，理科に限らず，学校教育での多くの教科においてこのような能力の習得によって次世代のイノベーションが促され，地域経済に貢献できるという意識が高まりつつある。

特に青森は，農業，漁業，畜産業，工業，エネルギー業，情報通信業といったあらゆる形態の産業が存在し，地域によってその分布割合が大きく異なる県であるといえる。これら多様な産業を担う人材を育てるために，教育は，もはや教科書に沿った画一的な知識詰め込み型ではなく，キーコンピテンシーを基に，日常生活から得られた知識を生徒がいかに学習で活用することができるかに，焦点をおく必要がある。

このことを裏付けるように，すでに中学校において全面実施されている「文部科学省 学習指導要領（理科）」においては，21 世紀の社会経済を「知識，情報基盤型社会」と位置付け，情報通信技術（ICT）を取り入れたコミュニケーション活動や協働作業を通じた課題解決能力，そして知識活用の能力を重要視している。

学校現場に目を向けると，教員 1 人に対し生徒 35～40 人といったクラス規模の中で，必然的に教育者中心型の授業が目立ち，課題解決や知識活用を促すためのコミュニケーションや協働作業に費やす時間が限られている。この要因として，1）教員数の不足の他，2）カリキュラム上の時間的制限，3）学習指導要領，教科書を越えた内容に関する専門性，4）革新性のある指導方法の取込みへの躊躇，といった事項が挙げられる。

このような問題から生じる影響は，国際学力調査にも明瞭に現れている。日本は，PISA や TIMSS といった学力調査で常に上位に入るにも関わらず，「科学の勉強は楽しいか（興味，関心）」という問いに対し，国際平均を大きく下回る結果となっている。このような「成績順位と興味，関心の乖離」の要因として挙げられることは，教職経験が比較的短い教員の中で，観察，実験を実施することに対し苦手意識を持つ教員が多いこ

とであると推測できる。

本人材育成事業では，今世紀いかなる社会，地域，産業分野においても影響を受けることが避けられない共通のテーマ「21 世紀の課題」を設定することで，学ぶことの目的を確かに持たせ，実際の地域社会，グローバルな文脈の中で科学の意義を見い出すことのできる形の教員向け研修会を実施する。特に上記若手教員の，学習指導要領，教科書を越えた内容に関する専門性，革新性のある指導方法の取り込み，といった問題領域への対応として，本事業は研修会を通じ具体的な教材，教授法をパッケージとして提供し，支援期間後も配属先学校において活用を促す。

目的と内容

本事業の主たる目的は,「青森県内の中学校教員向けに，21 世紀の課題を取り入れた科学実験研修会を行うことで，それぞれの配属先中学校における授業の活性化と生徒の科学に対する興味，関心を引き出すこと」である。

現代の生徒を取り巻く環境は，情報化社会の中でめまぐるしく変化している状況において，生徒は情報に自由にアクセスし，時に意図せずとも入ってくる地球規模の課題を目にし，耳にし自身の知識として蓄積していく。つまり生徒は，教員が想像する以上に，前知識を持った形で，授業に取り組んでいることが分かる。したがって，生徒の科学に対する興味，関心を引き出すためには，今日の社会で市民が直面する課題を大きなテーマとし，そこに科学の果たす役割と可能性を関連付けて教えることが求められている。

5 年，10 年後に地域の社会，経済発展を担う生徒達にとって，学校で学んだことを実社会でどのように活用することができるのかを自ら導き出すための能力は，上記の通り，特に今後の地域活性化のために重要な要素になるものと確信する。それを促進するための普及活動は継続的，持続的である必要があるため，本事業においては，研修会に参加した各地域の中学校教員には，助成期間後，習得した内容をそれぞれの学校で実践していただけるように，必要な機材の貸し出し等を通じ継続支援を行う。

通常，教育の効果を実施するための評価対象は生徒の能力レベルを測定することを

試みるが，本事業の目的は，観察，実験技術の伝達および波及に力点がおかれているため，実施後は，アンケート（研修会当日）およびインタビュー（事後の学校訪問）を通じ，教員による理解，活用状況を調査することで，波及効果を確認する。特に，青森県内で地域をかえながら継続的に実施することから，アンケートの結果は，事後の研修内容とその質の改善にも活用することができる。そして，本事業における成果物は，期間中に製作された各種教材であり，それらを教員向けパッケージ（印刷物）としてまとめ上げ，参加者に配布する。

実施者自己評価

評価項目	達成度指数				
	0～25 %	～50 %	～75 %	～100 %	100 %～
1）研修会への参加者数（全体）					
2）1 回当たりの参加者受入れ数					
3）研修会の実施回数					
4）参加者の内容理解度					
5）参加者の修得度（情報機器等）					
6）参加者の充実度					
7）テキスト・教材の完成度					
8）当初計画の達成度（総合評定）					

所見とまとめ

- 当初小規模（～10 人）の研修会を多数開催することを計画していたが，教育委員会下部組織であるいくつかの部会や研究会より，所属する教員全数の参加依頼があったことから，1 回当たりの規模を最大 20 人前後まで拡大した分，全体の開催数を 8 回から 7 回に縮小した。参加者数は延べ 98 人となり，当初計画の 80 人を達成した。

- 理解度，充実度等は，参加者アンケートからの指標から，75～100 %の範囲におさまると思われる。但し，情報機器の修得度については，今後類似の研修会を繰り返し実施することで，改善を目指す必要がある。

- 理科のみならず社会，技術，家政といった教科の，幅広い知識教養を学習展開に取り込むことを目指したテキストを作成し，それを研修会の場で利活用した。
- 学習展開における情報機器の活用方法については，参加者から高い良い評価を得ることができ，学校への持ち込み制限等の規則上の障害が軽減されていけば，学校教育への導入や活用が促進されるものと思われる。

8.3 日本教育大学協会研究助成

事業の概要

事業支援：	日本教育大学協会「研究助成」
活動名：	21 世紀の課題を取り入れた中学校教員向け STM 教授法の開発
助成期間：	2013 年 4 月～2014 年 3 月
助成額：	600,000 円
研究代表者：	長南 幸安（教育学部 理科教育講座 教授）
研究分担者：	島田　透（教育学部 理科教育講座 講師）
	櫻田 安志（教育学部 理科教育講座 准教授）*アドバイザー
企画兼講師：	本間 正範（教育学研究科）*研究協力者として参加

日本教育大学協会は，例年以下に示されるカテゴリーにおいて，研究支援を実施している。本研究では，理科を 1 つの分断された教科としてでなく，技術，数学といったその他の教科との有機的な融合を図り，それを地域の学校と連携し具現化していくという目標を立て申請をし，カテゴリーIII として採択を受けた。検証作業を含む研修会の実施は，8.2 に示された「むつ小川原地域プロジェクト支援事業」との兼ね合いから，同事業と同日開催とした。

表 8-5: 研究助成の対象カテゴリーと重点テーマ

カテゴリー	重点テーマ
I. 修士レベル化を見据えた学士および大学院課程の教員養成に関する研究	教員養成系大学，学部および大学院における教員養成教育の質保証に関する研究
II. 附属学校園に係る教育研究	附属学校園の機能，役割（教育実習等）の充実に関する研究
III. 地域の学校や教育委員会との連携，協働に関する研究	—
IV. その他（いじめ問題，防災復興教育等）	今日的課題に関する研究

[日本教育大学協会, 2012]

対象者： 青森県内中学校教員

URL： 事業説明
http://www.jaue.jp/index.html

企画の全体構想

本研究では，カテゴリーIII の「地域の学校や教育委員会との連携，協働」としての取り組みを通じ，理科を中心に技術および数学（以下 STM：Science, Technology & Mathematics）の要素を横断的に取り入れた教授法の開発を行う。

研究の主たる目的としては，大都市圏への人材流出や雇用機会の格差拡大といった問題をもつ地域経済を活性化させるために，次世代を担う生徒が，21 世紀の課題を常に意識しながら，STM を学ぶことができる環境を作り出すための教授法の開発を実施する。また，研究をより効果的なものにするために地域教育機関と連携を図るとともに，地域経済とそれを支える教育の役割を明確にすることも目的として掲げる。

ここで示される 21 世紀の課題とは，情報化革命，気候変動，砂漠化，干ばつ，エネルギー供給，越境汚染といった，いかなる地域経済や社会にとっても軽視することのできない（もしくは影響を受けることが避けられない）グローバルな課題を示す。高度情報化社会の現在，大多数の生徒が常日頃からメディア端末を通じ，このような課題に絡む情報に自由に（時に意図せずとも）アクセスし，目にし，耳にすることで，自身の思

考，判断に影響を及ぼすほど潜在的な知識として蓄積されてきている。STM はこのような課題に取り組むためのクロスカリキュラムとして貴重な存在であり，課題解決のためのツールとして，それを活用する能力を身に付ける。すなわち，社会において STM の果たす役割を実際の課題に関連付けた形で学習することが求められる。

このように，地域社会とその市民（ここでは生徒）が，21 世紀の課題の中で，どのような立場におかれ，どのような方法によってそれら課題を解決することができるかを見い出すための能力は，「創造性」「協働性」「コミュニケーション」「情報リテラシー」「科学的思考スキル」といった主要なコンピテンシーによって支えられる。STM に限らず学校教育での多くの教科においてこのような能力の習得によって次世代のイノベーションが促され，地域経済に貢献できるという意識が高まりつつある。

現在の学校教育における STM の学習は，理科，技術，数学という個々の教科に分離される傾向にあるため，生徒にとって，そこから得られた知識，技能の相互連携が図りにくいといえる。したがって，21 世紀の課題といった大きなビジョンを学習命題に持つことで，そのように分離されがちな知識，技能を有機的に統合させるための手段を新たな指導方法が必要となる。特に，学習指導要領，教科書を越えた内容に関する専門性や革新性のある指導方法の取り込みを望む現場教員の声は大きいことから，このような要望にも答えられる成果を挙げることが求められる。

以上示される研究においては，地域教育機関との連携，協働のもと，具体的な教材，学習法をパッケージとして開発し，それを提供することから，研究期間終了後もそれぞれの学校において研究成果を継続的に活用することにつながる。

採択の理由（評価表より抜粋）

1）細分化されている教科内容を有機的に統合させて，現実に生きる知識，技能を身に付けることができるようにするための教材，学習方法の開発は，現代の教育現場における重要な研究である

2）現代的課題と結びつけて STM を学べるようにするための教員研修と，教授法の開発を地域教育機関との連携を通して進めようとするものであり，カテゴリーIII の趣旨

に合致する。

3）地域教育機関と連携を図り，研修を行いながら教授法を改善していくことは，現場に大きく貢献することになると考える。

4）パッケージ化して開発される研究成果は，関係諸機関にとって大いに参考になることが予想され，本研究課題の意義は大きい。

5）理科離れといわれる近年の児童生徒をめぐる状況の中で，理科，技術，数学の要素を複合した課題と，「創造性」「協働性」「コミュニケーション」「情報リテラシー」「科学的思考スキル」といった主要なコンピテンシーの伸張に寄与するという構想は，十分に理解でき，教科間の連携の発想からも大いに評価したい。

実施報告

日本教育大学協会発行の「日本教育大学協会研究年報」にて，実施内容と結果を含む研究報告を掲載する予定である。

9 実施結果の詳細と分析

現場検証や研究を兼ねたすべてのアウトリーチ活動では，参加者によるアンケート評価によって，提案された学習展開や手法の有効性を確認することとした。科学技術コミュニケーション推進事業に関しては，支援者である科学技術振興機構から，アンケート内容の指定を受けたため，それも含めた形で本節に示したい。

2012 年度の中学・高校生向け実験講座においては，事前アンケートを用いて，生徒のキーコンピテンシーの確認作業を実施した。これは概略的であり，結果から正確な結論を導くことはできないが，生徒は主に，アイデアの構築と共有，そしてディスカッションを通じた問題解決といった点を不得意領域としていることが示された。実験講座後のアンケートでは，感想の記述を含め，生徒による内容評価が行われ，学習展開とその実施方法，情報端末とセンサの利用に関して，学校への導入を望む意見が挙がった。

2013 年度の教員向け研修会においても，参加者である現場教員からの率直な意見を収集するためのアンケートを実施したので，その詳細をここに示す。教科横断といった他教科，他領域への接続性について，今後教育に取り入れなければならない課題としての認識が強く，そのための基礎を知り得る研修内容であったことが，評価された点であったといえる。

9.1 2012 年度 中学・高校生向け実験講座

事前アンケート（セルフチェック）

2012 年度実験講座では，活動を始める前に，次のような設問を含む事前アンケートを実施した。この目的としては，生徒がすでに持つであろうコンピテンシーを生徒自身に自己評価してもらい，それを量的に読み取ることであり，回を重ねるごとの変化を測定することを意図したものではない。この理由としては，科学技術コミュニケーション事業の要求事項として，可能な限り多くの地域住民を事業の対象とすることにあり，したがって活動のたびに生徒を入れ替えていたため，ある特定の生徒のコンピテンシー変

化を追跡することが実質困難であったためである。

表 9-1 の設問 No.1 および No.2 は，創造性やイノベーションの能力を問う項目であり，ここから，参加した生徒は，身の回りの小さな問題が，他の大きな問題に連続的に接続していることを認識している一方で，新しいアイデアを生み出し，共有するといった経験が少ないことを推測した。

No.3～No.6 は，協働性やコミュニケーション能力を問う内容であり，自分の考えを周囲に説明し，理解させ，また分かりやすく質問をするといった点で自信がないように捉えられる。しかしながら，コミュニケーションをとったり，協力し合い作業を進めることに関しては，優れている点として挙げることができる。

No.7 および No.8 は，現代の生徒に必須となるメディアの利用に関する質問であり，おそらく学校での情報教育等を通じ，それに対する認識は総じて高い。結果からも読み取れるように，情報を参考にしたうえで，自分なりの考えを持つことが大切であるという生徒が多かった。また，メディアを通じ双方向でやり取りをする機会が増えていることから，その使用にモラルやプライバシーが関わっていることについても，概ね良好の回答を得られた。

No.9 および No.10 は，科学実験において一般的に求められる能力について問い，実験を行うことの必要性を，自然界の現象を理解するためのものとして捉えている生徒は多かった。また，実験で仮説を立てたり，予想をしたりする場面が増えてきていることからも，その重要性についての認識は高かった。

これら，生徒のキーコンピテンシーを調査するためのアンケートについて，内容は生徒に分かりやすいように簡略化してあり，また，あくまで概略的であることからも，4.2 キーコンピテンシーに示された項目すべてを網羅できているわけではない。

表 9-1: キーコンピテンシー チェックリスト（生徒）

キーコンピテンシー	No.	チェック項目 （斜体は「はい」「いいえ」のいずれか高い方を示す）	はい	分からない	いいえ
創造性・イノベーションスキル： *他人の意見を尊重しながら，自ら率先してアイデアを創造し，問題解決につなげる能力*	1	さまざまな新しいアイデアを取り入れたり，生み出したりすることができる。	41 %	12 %	***47 %***
	2	身近な小さな問題は，地球的スケールの問題につながっていると思う。	***93 %***	1 %	6 %
協働性・コミュニケーションスキル： *多様性のあるアイデアに対し，偏見を持たずそれを共有し，異なる年齢間や背景をもった参加者と効果的にコミュニケーションをとる能力*	3	自分の考えを他人に伝え，理解させることができる。	30 %	21 %	***49 %***
	4	周りの人とコミュニケーションをとり，意見を交換することができる。	***62 %***	13 %	25 %
	5	周りの人と協力し，問題に取り組むことができる。	***86 %***	3 %	11 %
	6	疑問に思った点は，聞く人に分かりやすいように質問することができる。	38 %	19 %	***44 %***
メディア・情報リテラシー： *メディアから得られる情報の意図や影響を批判的，多面的に読み取る能力*	7	テレビやインターネットからの情報を参考にし，自分なりの考えを持つことができる。	***76 %***	3 %	21 %
	8	テレビやインターネット等の情報には，モラルやプライバシーが関わっていると思う	***81 %***	4 %	15 %
科学的アプローチ： *予備知識や仮説を基にした実験シナリオを描くことができ，それを実行する能力*	9	実験を行う時には，どのような結果を得たいのか予想してみると良いと思う。	***88 %***	4 %	7 %
	10	どのような実験も，身の回りの現象を理解するために必要だと思う。	***88 %***	2 %	9 %

（参加者数 91 人）

参加者評価（事後アンケート）

2012 年度に実施した計 5 回の実験講座では，事後アンケートを実施し，参加者の反応を項目別に調査することとした。このアンケートには，支援事業者である科学技術振興機構によって指定された質問と，筆者によって作成された質問が統合されている。

感想によれば，講座前は，難しそうなトピックということで，ややためらいをもつ生徒がいたようだが，活動を終えて「とてもわかりやすかった」「まあまあわかりやすかった」という肯定的回答は，91 人中 87 人に上った。以前にこのような活動に参加したことのない生徒は，91 人中 63 人であり，弘前市およびその近隣市町村での科学コミュニケーション活動は，あまり普及していない様子を垣間見ることができた。見方を変えれば，主要な科学館，博物館，その他産業展示施設がほぼ存在しないこの地域にとって，このような活動の意義は大きいことを示している。

各学校に募集チラシを配布したり，電話をしたりして理科教員に参加者を募ってもらったことから，すでに科学技術に興味を持っている生徒が集まったことは回答からも分かる（とても興味があった 91 人中 50 人）。講座を受け，その後の興味の高まりについて「更に興味を持った」が 91 人中 60 人という結果になった。21 世紀の課題について，そして社会の中での科学技術の役割について考えを深めることができた生徒は，「よく考えることができた」と「まあまあ考えることができた」の肯定的な回答を合わせると 91 人中 87 人であった。また，アイデアの視覚化のために利用したカードによる活動，また情報通信機器の活用に関しても，同様に生徒の評価は高く，ともに全体の 8 割以上が肯定的であった。

表 9-2: 科学技術コミュニケーション推進事業 事後アンケート結果(生徒)

質問項目	回答者の分布(人)(斜体は各項目の最大数を示す)								
1)今日の活動は楽しかったですか?	1. とても楽しかった	2. まあまあ楽しかった	3. 普通	4. あまり楽しくなかった	5. 全然楽しくなかった	不明	*Σ*		
	82	9	0	0	0	0	*91*		
2)今日の活動は分かりやすかったですか?	1. とても分かりやすかった	2. まあまあ分かりやすかった	3. 普通	4. 少し難しかった	5. とても難しかった	不明	*Σ*		
	67	20	2	2	0	0	*91*		
3)以前にもこのような活動に参加したことがありますか?	1. よく参加している	2. 参加したことがある	3. 今日がはじめて	不明	*Σ*				
	7	***21***	63	0	*91*				
4)また参加したいと思いますか?	1. 積極的に参加	2. 機会があれば参加	3. どちらともいえない	4. あまり参加したくない	5. もう参加したくない	不明	*Σ*		
	35	***52***	4	0	0	0	*91*		
5) 今まで,自然や科学技術に興味がありましたか?	1. とても興味があった	2. まあまあ興味があった	3. どちらともいえない	4. あまり興味はなかった	5. 全然興味はなかった	不明	*Σ*		
	50	27	6	8	0	0	*91*		
6) 今日参加して,自然や科学技術への興味が高まりましたか?	1. 更に興味を持った	2. 少し興味を持った	3. 変わらない	4. 少し興味が薄れた	5. 興味がなくなった	不明	*Σ*		
	60	30	1	0	0	0	*91*		
7)今度は今日のような活動に友達を誘ってみたいですか?	1. とても誘ってみたい	2. 誘ってみたい	3. あまり誘ってみたくない	4. 誘ってみたくない	不明				
	41	***47***	3	0	0				
8)今日の活動をどこで知りましたか?	1. チラシ・ポスター	2. 広報誌	3. 学校	4. 科学館・公民館	5. 知人の紹介	6. 講師や主催者	7. その他	不明	*Σ*
	0	0	***81***	0	1	9	0	0	*91*
9) 21 世紀の課題がどのようなものか自分なりに考えることができましたか?(筆者にて追加)	1. よく考えることができた	2. まあまあ考えることができた	3. どちらともいえない	4. あまり考えなかった	5. 全然考えなかった	不明	*Σ*		
	52	35	4	0	0	0	*91*		
10) 世界の中で,そして社会の中で,科学が果たす役割を自分なりに考えることができましたか?(筆者にて追加)	1. よく考えることができた	2. まあまあ考えることができた	3. どちらともいえない	4. あまり考えなかった	5. 全然考えなかった	不明	*Σ*		
	39	***43***	9	0	0	0	*91*		

11）カードを用いたグループワークを普段の授業でも使ってみたいと思いますか？（筆者にて追加）	1. とてもやってみたい	2. できればやってみたい	3. どちらともいえない	4. あまりやりたくない	5. 全然やりたくない	不明	*Σ*		
	51	32	5	2	1	0	*91*		
12）タブレットのような情報機器を普段の授業でも使ってみたいと思いますか？（筆者にて追加）	1. とても使ってみたい	2. できれば使ってみたい	3. どちらともいえない	4. あまり使いたくない	5. 全然使いたくない	不明	*Σ*		
	76	10	3	1	1	0	*91*		

参加者感想とその解析

実験講座の実施後に，アンケートとともに感想を記述してもらう時間を設けた。生徒の感想は，生徒が持った考え，思いが率直に記され，その後の講座を成り立たせ改善していくために有用であった。感想はすべて情報端末にタイプしてもらい，それを集約した。1 回目の講座では，初回ということもあり時間不足で感想の収集をすることはできなかったが，2 回目以降の生徒の感想については，抜粋を本項に，また，すべての感想を添付資料に加えてある。

ここでは，概要を示すために感想のいくつかを取り上げる。実験手順（シナリオ）を生徒自身が構築していく作業に関し，「実験手順を予想して話し合ったりしたことが一番印象に残りました。」「私も科学をもっと勉強し，物質の性質や働きをよく知って，実験のやり方を自分で筋道立てられるようになりたいと思った」という感想を受けた。また，「しっかりとした科学的根拠を用いて実験の結果を得ることができて自分でもすごく納得がいったし自信にもなった」「表現力が求められることを感じ，実験を皆で協力してやり遂げるのは達成感がすごくありました」「実験を自分で考えなければいけないので少しは自分で考える力が身に付いた気がしました」という感想もみられた。

情報端末の利用とそこから得られる知識，情報については，「調べ方が楽になり，より多くのことを調べられるということはその分いろんなことを視野に入れて，より自分の問題，身近な問題として考えていかなくてはならないと思いました」と感想があったように，学習を進める上で，メディア，インターネットの活用を建設的に捉える生徒もいた。また，引率教員からは，「生徒にとってはタブレットを使っての作業ということでとても楽しかったと思います」「コンピュータや情報機器の発達でいろんなことが可能になるのもすばらしいと思う反面，使い方を間違えると大変なことになるなあとも思いま

した」といった，その効能とともに，現場での活用に対する不安感を示唆する意見もあった。

教科横断による他領域との関連性については「数学の問題を考えることと，実験のやり方を考えることは少し似ていると思った」「現代社会の時間に習った NOx やデジタルデバイドが今日の実験講座の中で出てきたので，現代社会と理科は密接な繋がりがあるのだと知った」という生徒の感想を受けた。その他，引率教員から次のような感想が述べられた。「今日の講座は，干ばつと食糧問題についてということでしたが，雲のでき方の実験や，塩分濃度の測定の実験など，中学校で習う基礎的な部分がたくさん使われていたり出てきました」「普段，教師の側で，授業で教えていますが，こういった学習内容が 21 世紀の地球の課題を解決し，環境を守るために使われていくためにもしっかり教えていかなければならないと感じました」

生徒の感想は，「価値観，有用性」，「事物現象の認識」，「自己の動機付け」という三つの分類に分け，参加者全体としてのその分布特性を確認することとした。表 9-3 は解析をする際に用いた基本的表現を示し，主観的ではあるが，おおよそこの範囲内であれば出現回数 1 回として，カウントをするようにした。それぞれの出現回数は，生徒の感想一覧（添付資料）に挿入してある。（注：表現を特定する際に重複や曖昧さが入ることがある。またタブレット端末の利用に関する感想については，本評価の対象にはしていない。）

表 9-3: 解析の分類と基本的表現

分類	基本的表現
A. 価値観，有用性	科学の有用性や応用，生活の改善，発展性について，自身の考えを基に記述していること
B. 事物現象の認識	活動を通して知ったこと，分かったこと，学んだこと（事物や現象，関連性等）を記述していること
C. 自己の動機付け	活動から得られたことを，学校での勉強，卒業後，将来における活用等を記述していること

第 2 回～第 5 回の実験講座で感想を提出した生徒 70 人についての解析結果を図 9-1 に示す。事物現象の認識や自己の動機付けでは，多くの生徒が 1 回もしくはそれ以上の

記述をしていたものの，価値観，有用性においては，2 人に 1 人程度の割合にとどまったことが分かる。

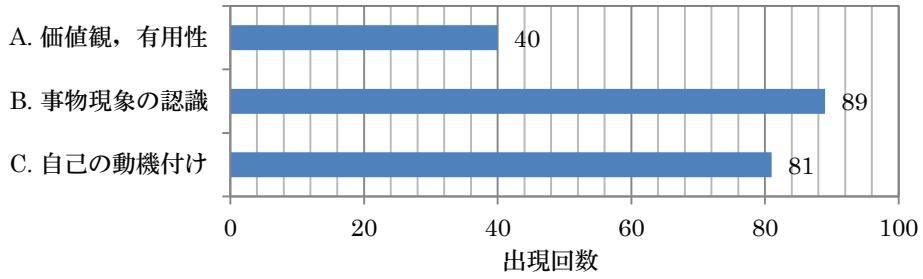


図 9-1: 活動後の価値観，認識，動機付けの分布

感想については，前述の通り，情報端末に直接入力してもらう形をとったことから，ここでは解析ソフトウェア EKWords を用いて，生徒が入力した単語の自動抽出を行い，その出現回数を確認することで，教科横断から得られるナッレジウェブの分布傾向を見定めることとした。図 9-2 に，生徒が 21 世紀の課題に関連する単語を感想文中で使用していた回数を示す。多くの場合，大気汚染，自動車，情報通信技術，新エネルギーといった，日頃メディアを通じ見聞きする課題が文中に示され，生徒にとって，活動との関連付けが容易であったように思われる。一方で，水不足，水サイクル，食料といった課題は，活動との関連付けが困難であったことを示唆している。

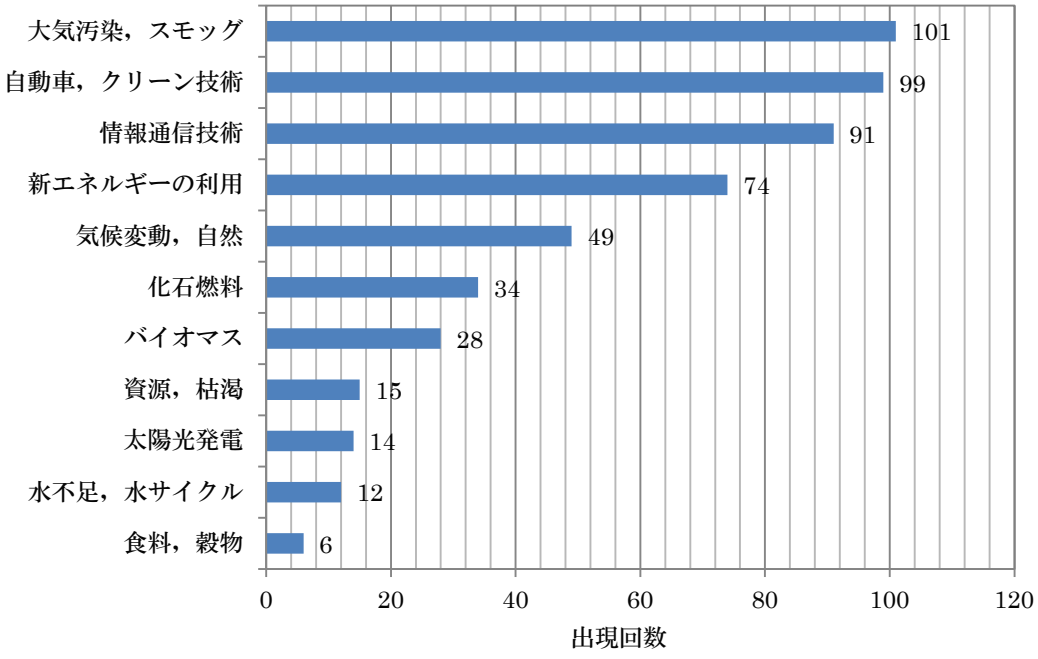


図 9-2: 21 世紀の課題に関連する単語の記述分布

参加者感想（生徒分抜粋）

「主に価値観，有用性に関する記述」

- 使用済みの油などでバイオ燃料がつくれているので，近い将来微生物を利用した新しい燃料も開発出来るのではないかと思います。
- 大人になったときのことも考え，いかに消費する量を少なくするかが大切だとおもいました。
- 建築物と自然との調和はこれからとても重要になってくると考えている。
- 実験を通してしっかりとした科学的根拠を用いて実験の結果を得ることができて自分でもすごく納得が言ったし自信にもなった。
- 越境汚染という言葉は，自国の責任を他国に押しつけているような感じがした。環境問題はどこか一部の国だけが取り組むのではなく，すべての国でもっと大規模に行われるべきだと思う。
- 科学は色々な物を生み出したり調べたりすることができ，未来の世界が楽しみになった。
- 現代社会の時間に習った NOx やデジタルデバイドが今日の実験講座の中で出てきたので，現代社会と理科は密接な繋がりがあるのだと知った。
- 窒素酸化物の年間排出量では，年々排出量が減ってきている国もあるけど，逆に増えている国もあるので，世界全体が排出量削減に協力していかなければ。
- 特定の国のせいにするのではなく，世界規模で話し合いをして解決を心がける必要があると思う。
- 現在社会の進歩にむけての道具が世界にあふれかえっていて，それらをどう使うかがとても重要だということに気づくことができました。

「主に事物現象の認識に関する記述」

- バイオ燃料をはじめとするこのエネルギーには穀物価格の上昇がありうるなど，まだ完璧ではないということを知った。
- 温室効果ガスの増加が社会問題になっていることが分かった。
- 窒素酸化物が太陽光を受けて化学反応を起こし，オゾンを主体とする酸化物質に変化することだとわかりました。
- 工場や車が排気ガスを出し，その後ノックスなる物質になる。さらに太陽光と反応してオゾンを主体とする酸化物質に変化する。

- 今日のような実験をすることによって何が原因で環境問題が起こっているのかを知ることが出来ました。
- 水不足は人口増加でおこったということがわかりました。また干ばつは自然のサイクルだということがわかりました。
- 今日の実験や話などで，雲の発生の細かい事について学校の授業よりもよく分かった。
- 電極電圧で塩分濃度がわかるということを今まで知らなくて，面白いと思った
- 「干ばつ」はアメリカなどの外国だけの問題だと思っていたけど，その被害が日本にも関連していると関いて驚きました。
- 金属の電圧の実験の手順を考えて実際に実験をして学ぶことがたくさんありました。
- 雲の発生には温度など色々な条件があることがわかりました。
- 雲が発生している原理もわかり，「なるほど」と思ったことがたくさんあります。

「主に自己の動機付けに関する記述」

- 再生可能エネルギー技術の改良に，小さなことでもいいから携わってみたい。
- 世界にはいろんな問題があると思いますが，私たちが今やれることから少しずつ行動を起こしていきたいです
- 私たちは燃料だけでは無く日々の生活も変えなければならない気がしました。
- 今日学んだ事は将来必ず役立ってくると思います。
- 将来的には自分もそのような仕事にかかわり，地球の自然を守っていけるようにしたいです。
- 普段使うことのない実験器具や薬品などを用いていたのですごく貴重な体験をさせてもらった。
- これをきに環境問題について考えてみようと思った。少しのことでも自分にできることがあると思う。
- 私も科学をもっと勉強し，物質の性質や働きをよく知って，実験のやり方を自分で筋道立てられるようになりたいと思った
- 実験も自分で考えなければいけないので少しは自分で考える力が身についた気がしました。
- より自分の問題，身近な問題として考えていかなくてはならないと思いました。

- 初めて聞いた言葉もあり，ちゃんと理解できるか不安でしたが楽しく活動できました。
- とても楽しかったので普段の授業でも取り入れてほしいです。
- 表現力が求められることを感じ，実験を皆で協力してやり遂げるのは達成感がすごくありました。
- 世界中にあふれている情報の中には正しくないものも少なからずあるので，きちんと判断して活用していこうと思います。とても詳しくそして楽しく協力して学ぶことができました。
- 今日学んだことを活かして，これ以上問題を増やさないように，自分でも行い他の人にも呼びかけていきたいと思いました。
- 普段学校の授業ではすることができないような実験をすることができました。もっとこのような機会を増やして欲しいと思いました。
- 科学の素晴らしさが，実験，映像，資料をみて良く伝わりました。次もこのような，科学の新しい発見をこの目で見たいと思いました。
- 科学だけではなくその他の知識も身につけることができたと思ったのでとてもためになった時間になりました。

ファシリテータ評価

実験講座においては，計 13 人の大学生（学部生および院生）をファシリテータとして起用し，グループごとに，ファシリテーションや視覚化作業，実験構築，データ採取等を行う際の支援をしてもらった。デジタルセンサを用いることを含め学習展開の多くは，ファシリテータにとっても新しい教育法であるため，講習会の前に事前説明会を開催し，円滑な活動になるよう努めた。教員養成課程に在籍し，すでに教育実習を通じ教育現場での経験を積んでいることから，生徒との接し方にとても慣れた様子であった。ファシリテータからみた，活動の印象としては，開催時期，時間，内容構成，配分等の面で概ね良好であったといえる。ただ，中学校から高等学校まで幅広く異なる年齢の生徒を募集したため，グループ間で進度の差が生じてしまったことへの指摘を受けた。またこれは，グループごとの生徒の理解度にも影響を与えていたようであり，後のファシリテータの感想にも挙がっている通りである。

メディアへアクセスをするために，生徒に情報端末を自由に使用させていたが，特に若年層（中学 1 年生）では，不要なサイトにアクセスしたり，写真を撮り合って遊ん

でしまう生徒がいたことは学習上問題であったといえる。しかしながら，土日を利用しての活動であるため，普段の学校であるような使用制限等の厳しいルールを強いることは避けた。年齢が上がるにつれて，生徒はある程度的確に，必要な情報にアクセスするにとどまり，学習の妨げにはならなかったように思える。

表 9-4: 科学技術コミュニケーション推進事業 事後アンケート結果（ファシリテータ）

質問項目	回答（斜体は各項目の最大数を示す）						
1）今回の参加は，あなたにとって充実したものでしたか？	①とても充実していた	②充実していた	③普通	④あまり充実していなかった	⑤充実していなかった	不明	Σ
	5	***6***	2	0	0	0	*13*
2）開催時期，時間の設定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	1	***8***	2	2	0	0	*13*
3）開催場所の選定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	2	***10***	1	0	0	0	*13*
4）活動の内容構成・配分	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	2	***8***	2	1	0	0	*13*
5）生徒人数の設定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	6	3	4	0	0	0	*13*
6）対象年齢の設定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	4	***5***	3	1	0	0	*13*
7）活動日の運営状況	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	2	***9***	2	0	0	0	*13*
8）安全への配慮	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	5	***6***	2	0	0	0	*13*
9）担当したグループの生徒の理解度	①とても良かった	②良かった	③普通	④あまり良くなかった	⑤良くなかった	不明	Σ
	0	***7***	5	0	1	0	*13*

（ファシリテータ 14 人中 13 人提出）

ファシリテータ感想

「当日の状況や参加者の反応」

- 普段あまり使ったことがないようなのか，子ども達はとてもイキイキしていたように思える。こういった機会がもっと増えれば，デジタルデバイドも減ってくるのかな，と思った。
- タブレットの授業は生徒たちにはなじみないもので，とっつきにくいかと思い授業をはじめたが，生徒はそれをつかいこなし授業をしていたので驚いた。本当に今の生徒は，自分たちが思っている以上に情報化社会の中で，すごしていることに気づいた。
- バイオエタノールの実験は楽しそうでした。実際に使われていることが分かったときは，内容にとても関心を持てていたようでした。
- 生徒たちも普段とは違う所で学習することで新鮮で楽しく学べたと思う。
- 楽しく環境問題について考えていたので良かった。
- タブレットを使用した授業は初めての人が多かったため，生徒たちの反応はものすごくよかったように感じる。
- タブレットのカメラで遊ぶ人が多く，授業の妨げとなっていた。学校の授業とは違い，のびのびと実験させたかったので，細かく注意すべきかまよった。

「実施した取り組みの改善点等」

- 実験手順を考えるとき，付箋の使い方が理解できていませんでした。良い方法ですが，学校では行わず慣れていないので，実践例を見せたら良かったのではないでしょうか。
- 授業時間が長いと感じた。中学校は 50 分授業であるから，細かめに休みを入れた方が集中度も増すと思った。しかし，実験があるため，普通の座学の授業よりも生徒たちの集中は続いたと思われる。
- 説明する時の言葉（専門用語）の意味を伝える必要があると感じた。
- ファシリテータへの事前の指導がよりあると，いいのかなとも思いました。
- 実験器具の説明をもっとできるようになりたいと感じた。
- 事前の予習がもっと必要だと感じた。
- グループで１人しかデバイスを使えなかったので，１人１台あれば，もっと有意義な取り組みができたのではないでしょうか。
- 参加する子どもたちの意識として，実験を“こなすこと”自体が目的になってしまってい

るように見うけられる。

- この講座で子どもたちに何を考えて欲しいのか，何を学んでほしいのかが明確に意識できるように，講座の構成にメリハリをつける，テーマごとの課題を明示する必要があると思う。
- 学校での学習状況を把握して，授業を構成すれば良いと思う。
- 映像を見せて重要な語句をメモさせる際の生徒が少し手まどっている様子がみうけられた。
- グループの生徒たちのうち数人が説明が早くてついていけない，また習ってないから少し難しいなど言っていました。説明をするときに，どの学年でもわかるような説明が必要だと感じました。参加する学年のうち，一番低い学年にあわせると良いのかなと思いました。
- カードを使った並びかえ等で何度か生徒たちに考えさせる際，案外あっさり並びかえが終わってしまい，あまり話し合い等が活発に行われていませんでした。内容を深められるようなきっかけがあるといいのかなと思いました。

9.2 2013 年度 教員向け研修会

参加者評価（事後アンケート）

表 9.5-6 に示される項目について，研修会後にアンケートを実施し回答を得た。ここでは，理系「理科」および「技術，数学」，その他文系など「国語，社会，英語，音楽，美術，保健体育」の担当教科に区分してある。教科横断型の学習を行うということで，多様な教員が参集したわけであるが，回答結果から判断する限りは，理科のみならず，理科以外の教員にとっても，研修会自体は充実したものであったことが分かる。

学習展開の内容構成や配分については，全体の 80 %以上が適切であると回答し，機材の活用に関しても，約 90 %が適切であるとしている。内容の理解度は，専門とする教科によってある程度の差が生じたものの，概ね 70～90 %の間におさまっている。ただし，教科横断の意識化については，理系，文系間の差が顕著であり，文系にいたっては意識できたと回答した教員は半数程度であることから，研修内容の調整が必要と思われる。学校での展開に関して，学校での情報機器の利用制限（環境要因）を理由に，現状困難であろうという回答が多く，あり得るという教員は，理科で 44 %，全体では 41 %という結果になった。

表 9-5: 中学校教員向け科学実験研修会 事後アンケート結果 A（教員）

【充実，適切，良い以上の回答】	理科	技術，数学	国語，社会，英語，音楽，美術，保体	全体（担当教科不明 2 人含）
（1）今回の参加は，先生にとって充実したものでしたか？	***90 %***	88 %	82 %	89 %
（2）講座に関する下記の項目をどのように評価しますか？				
・ 開催時期，時間の設定	85 %	***88 %***	71 %	84 %
・ 開催場所の選定	***95 %***	88 %	88 %	93 %
・ 内容構成・配分	***90 %***	82 %	82 %	87 %
・ 機材（情報端末，センサ）の活用	87 %	***100 %***	94 %	91 %
・ 参加人数の設定	92 %	***94 %***	88 %	92 %
・ 活動日の運営状況	94 %	***94 %***	94 %	94 %
・ 安全への配慮	87 %	***100 %***	94 %	91 %
・ 内容の理解度	82 %	***88 %***	76 %	82 %
・ 理科を中心とした教科横断を意識できたかどうか	***89 %***	71 %	59 %	81 %
・ 習得した内容の学校での展開はあり得る。	***44 %***	35 %	41 %	41 %

表 9-6: 中学校教員向け科学実験研修会 事後アンケート結果 B（教員）

質問項目	回答（斜体は各項目の最大数を示す）						
1）今回の参加は，先生にとって充実したものでしたか？	①とても充実していた	②充実していた	③普通	④あまり充実していなかった	⑤充実していなかった	不明	Σ
	32	***55***	4	4	1	2	*98*
2）開催時期，時間の設定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	23	***59***	14	1	0	1	*98*
3）開催場所の選定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	28	***63***	5	1	0	1	*98*
4）内容構成・配分	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	23	***62***	10	0	1	2	*98*
5）機材（情報端末，センサ）の活用	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	39	***50***	7	0	0	2	*98*
6）参加人数の設定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	31	***59***	7	0	0	1	*98*
7）活動日の運営状況	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	32	***60***	5	0	0	1	*98*
8）安全への配慮	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	45	44	3	0	0	6	*98*
9）内容の理解度	①とても良かった	②良かった	③普通	④あまり良くなかった	⑤良くなかった	不明	Σ
	22	***58***	9	3	0	6	*98*
10）理科を中心とした教科横断を意識できたかどうか	①とても良くできた	②良くできた	③分からない	④あまりできなかった	⑤できなかった	不明	Σ
	23	***56***	11	2	0	6	*98*
11）習得した内容の学校での展開	①大いにあり得る	②あり得る	③分からない	④やや難しい	⑤難しい	不明	Σ
	9	***31***	23	19	9	7	*98*

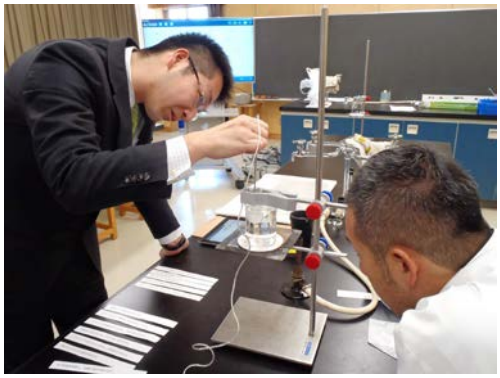
参加者感想

- 教科を横断して，実際の生活，環境へのリンクは，すごく大切だし，面白いと思いました。実際に行うには，時数や，生徒の理解度，ハード面の充実など，かなり，ハードルがあると思います。何か 1 つでも，とり入れてみたいと思います。[理科]
- キャリア教育につながる内容で，とても良かったと思います。全部の機器をそろえるのは，費用がかかり，同じような授業はできないかなと思いました。[理科]
- 実験を実際にしてみれたことは大変参考になったし，楽しかったです。授業において探求的にアプローチしていきたいものだと思いました。[理科]
- 幅広い視点で，動機づけしていくことは今の理科教育では不可欠なことである。今回の研修はその一端に触れることができたので，大変参考になりました。[理科]
- 実験の手順を考えさせるところが参考になった。[理科]
- 数値の変化が，リアルタイムで確認することができ，また，グラフ化されるのが，とても分かりやすくてよい。[理科]
- 「わかる授業」を進める上で ICT の活用もとても重要で，苦手だと言っていられないと思った。自分もしっかり勉強していきたい。[理科]
- 大変有意義な研修になりました。これからも参考にして，実践に取り入れたいと思います．[理科]
- グラフを作成したり読み取ったりするのにタブレットは利用しやすいと思いました。理科にかかわるアプリケーションを利用することで生徒が興味をわきやすいのかなと思いました。[理科]
- 活用できるサイトの紹介や，センサ機器等の紹介など，とてもこれから取り組みたいと思うもので，きっかけになりました。[理科]
- パルミチン酸の融点測定は，とてもきれいな温度変化がグラフに現れ，とても良いと思いました。[理科]
- タブレットを使った実験で，グラフがきれいに見ることが出来て，融点がどこか分かりやすかったです．[理科]
- 問題演習が楽しかったです。しっかり勉強しないとすぐに忘れてしまいます。良い刺激になりました。温度センサ，タブレットを学校に入れたいと思いました。[理科]
- 実験で活用できるタブレットや器材があることはとても参考になりました。[理科]
- タブレットを利用した教材・教具について全く知らなかったので，これから授業に使える

ヒントになりました。[理科]

- 総合的な学習の時間を意識したときに，課題研究的なテーマをたくさん紹介して下さり，今後の参考になりました。[理科]
- センサの実演が理解しやすく，参考になりました。しかし，実際に学校で本内容を行うには予算や器具など，様々な準備が必要であり，生徒実験では厳しいというのが正直なところです。可能であれば，タブレットを活用した，演示実験なども紹介していただけると幸いです。[理科]
- タブレットを使用することで,様々な実験でとても細かいデータを取ることができ,また,その場ですぐに生徒に提示することができるという点も，すばらしいと思う。また，教科書には載っていない細かな誤差なども，タブレットを使用すると教えることができる。しかし，タブレットとセンサは，やはり高価なので，常に学校で準備できるかは難しいと感じる。[理科]
- 扱いやすい器具が準備されていて，予想通りの結果が出るのがいい（中学生は“教科書通り”の結果でないと，かえってモヤモヤが残り，実験したことがマイナスになる)。数値をグラフ化するのはやる気が出るが，一度グラフで見てしまったものをグラフに残すのは意欲が沸かない（と思われる）[理科]
- タブレットを使った実験は，手軽で良いと思ったが，予算の面で，環境が整うには，まだまだ時間がかかると思う。[理科]
- 実際の授業でどこまで活用できるか，検討する必要があると思う。今回の内容は理科だけの時間ではやりきれない印象がある。総合学習での展開もありかなと思う。[理科]
- 内容によってはタブレットはとても便利だが，学校としての使用ルールや方法の指導をする必要がある。[理科]
- 1 学年で週 3 時間,行事があれば週 1～2 時間になってしまうという教科書の内容だけで手一杯の状況で，無理にやる必要があるのか疑問。実験方法をランダムに書いたものを並べかえて考えさせるのは参考になった。タブレットを使った授業はやってみたいが，市からの貸し出しの校務用パソコン以外，校内に持ち込み禁止なのでできない。[理科]
- 30 人程度で効率よく活用するにはまだ予算や方法にも課題が多すぎると思いました。[理科]
- 学校ですぐにでも使ってみたいと思いますが，予算的に厳しいですね。[理科]
- ICT 機器の活用は,機器の充実がされないと難しい。自分である程度準備したりもするが,すべてはお金しだい。[理科]

- 自分で，積極的に活用したくなりました。[技術]
- タブレットとの組み合わせが大変よかった。実験データが直接プロットできるのがよい。[技術]
- 理科を中心とした教科横断については，授業の展開はそうなっていても良いと思うが，それでは他教科との連携はのぞめないと思います。故に各教科でそれぞれ中心として授業を展開するか，連携の上で中心を決めずにするかが良いのではないか。[技術]
- はじめに事象を予測して，検証しようとする態度は数学にも通じることが大変多くあるのだなと気付かされました。[数学]
- タブレットとセンサが連動して扱えるというのは発見でありおもしろかったです。[数学]
- 理科の実験では，とても可能性を感じる。公立中でタブレットがいつ配布されるかわからないが，未来への必要性を理解でき良かった。[数学]
- タブレットを利用する授業には興味を持てたが，たぶん学校への導入は難しいし，もし導入したとしても数台だと思う。少ない数の端末をどう活用するか研修してみたい。[数学]
- 講義を聞くだけではなく,実際にタブレットを使用して行うことによって,理解がすすみ,具体的使用におけるイメージがつかみやすかった。[音楽]
- 実験結果が正確に出てくるのが良かった。私の教科の分野とは全然ちがうのですが，周囲の先生方と色々なコミュニケーションがとれたので新鮮でした。[美術]
- 現場で活用できる内容であった。[英語]
- 理科教員ではないので，予備知識を仕入れておきたかった（物質の融点）。もう少し時間があればよいのだろう。[英語]
- 最新のデジタル機器等の体験できて良かったと思います。もっともっと活用事例（他教科でも）を学び，活用していきたいと思います。[保健体育]



ファシリテータ評価

表 9-7: 中学校教員向け科学実験研修会 事後アンケート結果（ファシリテータ）

質問項目	回答（斜体は各項目の最大数を示す）						
1）今回の参加は，あなたにとって充実したものでしたか？	①とても充実していた	②充実していた	③普通	④あまり充実していなかった	⑤充実していなかった	不明	Σ
	3	1	0	0	0	0	*4*
2）開催時期，時間の設定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	0	1	***3***	0	0	0	*4*
3）開催場所の選定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	0	***4***	0	0	0	0	*4*
4）活動の内容構成・配分	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	1	***2***	1	0	0	0	*4*
5）機材（タブレット，センサ）の活用	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	3	1	0	0	0	0	*4*
6）参加人数の設定	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	1	***2***	1	0	0	0	*4*
7）活動日の運営状況	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	1	***2***	0	1	0	0	*4*
8）安全への配慮	①とても適切であった	②適切であった	③普通	④あまり適切でなかった	⑤適切でなかった	不明	Σ
	1	***2***	1	0	0	0	*4*
9）先生方の理解度	①とても良かった	②良かった	③普通	④あまり良くなかった	⑤良くなかった	不明	Σ
	0	***3***	1	0	0	0	*4*
10）TA として理科を中心とした教科横断を意識できたかどうか	①とても良くできた	②良くできた	③分からない	④あまりできなかった	⑤できなかった	不明	Σ
	1	***2***	1	0	0	0	*4*
11）講座内容の学校での展開	①大いにあり得る	②あり得る	③分からない	④やや難しい	⑤難しい	不明	Σ
	2	1	0	1	0	0	*4*

ファシリテータ感想

- 理科の内容を身近な産業や環境問題と組み合わせることによって，より深い理解と知識が必要となり，それを応用していくことで生徒たちに意識づけられると思いました．
- 日本の「理科離れ」の背景にある問題は，自然科学の探求のみにしぼった狭い内容であるからおこり，研修のように，職業や技術と組み合わせた，より発展的な内容になることが求められていると思いました。
- 実験，かなりたくさんの先生方が興味を持って取り組んでいたのが，かなり印象的でした。
- 問題に取り組んでいる時，教員が生徒になったような顔をされていたので，すごくファシリテータをしていて楽しかったです。
- タブレットを使った実験はおもしろいです。先生方がまるで生徒のように集中して実験にとりくむ様子が印象に残っています。
- 理科を，新しいグローバルな視点から課題を見つけ，解決していく実験は，とても興味深かったです。
- 情報端末を取り入れる授業の例をテキストに載せることによって，各学校の現場に戻ったときに，他の先生に“これは良さそうだった”と伝えることができたのかなと思いました。
- 時間配分がもっとよくできていれば，（予定していた）3 つの実験すべてを達成することができたと思う。

第5章

議論と提言 － 今後の展望と取り組み －

本研究は，労働力人口が確実な減少軌道にあり，かつ仕事形態が非マニュアル化，抽象化している現在の社会経済環境において，将来の労働者である生徒に求められるであろう，能力の養成手法の開発と実践を試みた。そのための価値創生と自己決定を取り入れた教育環境を設定するために，カリキュラムに教科横断性を持たせつつ，生徒がアイデアを出し合うことで独創的な実験手順を構築し，それを改善につなげるという，ある種産業における生産プロセスに近い方法を用いた。教科横断においては，地域社会に影響を及ぼすであろうグローバルな社会的文脈（21 世紀の課題）を学習展開の導入部に提示することで，メディアとの接点が多い現代の生徒にとって，学習自体をより実際に即した，課題解決型のアプローチにすることとした。特にこのような展開にあたっては，教育のさらなる情報化を見越し，情報端末とデジタルセンサの組み合わせによる現象観察・認識のリアルタイム化を行い，上記構築された実験手順の改善作業を容易にした。一連の学習展開は，教育投資をより効率的に活用し，産業界のニーズに沿った最適な人材（キーコンピテンシーを備えた科学的労働者）を輩出するための一提案として捉えることができる。実際には，教育現場からの意見を踏まえると，カリキュラムの再編成，情報機器の導入，横断的思考を伴う教育力確保といった側面において，今後継続した支援を要する。

I. 研究のアウトプットからの議論

人口減少を伴う社会における教育 - 価値創生

知識基盤社会においては，第一次産業，第二次産業，第三次産業といった独立して存在する個々の産業よりも，むしろ，それらと知的財産，情報，研究開発といった知識を基盤とする産業との融合が加速的に増大していくとされる。そのような大きな過渡期にある社会（特に，先進諸国や新興国）において，教育の改革がこれまでになく大胆に進められている。科学教育分野では，教科横断，融合型アプローチである STEM（Science, Technology，Engineering and Mathematics）を主体に，州ごとに産業の関わりを教育にまで浸透させ，それら有機的連携のもと，次世代の産業を担う人材を養成するアメリカの試みがある。教育の役割を，経済の原動力として捉え，そこに投資を呼び込み，効率的に活用し，経済活動に人材をリターンするという，ある種理想系の循環を求めている。確かに，教育は，どの国においても，政策ターゲット（中心的話題）になりやすい。アウトプットが明確でなく経済への貢献度の定量測定が困難であるとともに，「子どもたちの教育」というある種の社会福祉，慈善的行為に対する莫大な投資に，時として批判的視点を持ち異を唱える市民が少ないことが，このターゲットになりやすい理由ではないだろうか。

国際的にみても，PISA，TIMSS，PIAAC 等の学力調査から日本の生徒，成人の学力が高いことは間違いなく，これは，その投資に見合った学力を生徒が習得し，かつ生涯にわたりそれを保持するための社会教育，自己学習の取り組みがなされていることを意味する（少なくとも，教育という 1 つのステージ上では成り立つ）。一方，産業からの視点で，教育を考えると，現在，両者の思う人材としての社会的利益は食い違い，相互接続性が保たれていないように思える。それは，機械的，マニュアル的仕事の需要が減少し，逆により抽象的で課題解決への手段が定まらない不確定な要素を含む仕事が増加していることからも，人材と産業とのミスマッチが生じる結果となっている。

OECD 先進各国において，現在重要視されている「コンピテンシー教育」や「キーコンピテンシーの獲得」は，これに対処するためにアプローチであると考えられる。本研究では，まず，次の 4 つのカテゴリーにコンピテンシーを分類した。それは，「創造性・イノベーションスキル」「協働性・コミュニケーションスキル」「メディア・情報リテラ

シー」「科学的スキル」である。そして，このコンピテンシーの習得を産業的な視点から，PDCA サイクルを基にした生産性の向上，つまりイノベーションや価値の創生を意識した学習展開へと発展させ，それを構築した。労働力人口の減少が続く中で，社会経済の水準を維持するためには，生産性の向上が必須条件となることは自明である。

青森県を例にすると，過去 10 年間で約 9 %の労働力人口が失われ，農林漁業を含め産業の衰退が懸念されている。大都市圏への人口の流出，県外資本や海外製品の流入といった外的要因による影響は大きいものの，すべての産業の基幹となりうる第一次産業の分野ではすぐれた産業特化係数を保持し，複雑性が増しながらも，高次産業化の流れの中で成長を見込める分野は多い。このような地域の持続可能な開発・発展のために，域内の新規学校卒業者に求められる知識，技能，能力は，前述のコンピテンシーを主体としたものになることは，本稿で描写された社会的背景と同期するであろう。

社会的文脈と教科横断性 - メディアの利用

学習展開はステートメントに記載された，社会的，科学的文脈を含む「21 世紀の課題」の認識から始まる。グローバル課題のローカル化，つまり，昨今の国際社会，環境，エネルギー，食料等に関わる動向，情勢が，一般市民の社会生活に直接的にも間接的にも影響をもたらす状況において，コミュニティの中だけでは解決が困難であることを意識付ける。すなわち，ここでいう科学は，学校教育の理科という「自然科学の探求」としての学問で学習が完結するのではなく，むしろ，それぞれのトピックが社会的な文脈の中で，その役割を果たしていることも，同時に捉えられるような展開が望ましい。現代の生徒が特に馴染みのある情報端末は，メディアを通じた，知識の獲得や多様性の認識，良否判断といった観点から，意図的に学習内にその利用を取り込むこととした。

また，分断されがちな知識や教科ごとのトピックを有機的に連結するため，生徒のナレッジウェブを構築することの必要性を示唆した。理科，社会，技術，家政で学習するトピックには連携を組みやすいものが多い。例えば，バーチャルウォーター（仮想水）や遺伝子組み換え食物というトピックを学習するのであれば，理科の視点からは，気象（気温，湿度，降雨，水サイクル），動植物の生育と環境要因等に関連付けられる。社会の視点では，乾燥地帯での食物生産と日本の食料需給，貿易，輸出国の経済情勢，食物価格等，また技術や家政では，水の浄化システム，飲料水の純度，硬度，食料生産のた

めの灌がい等，多岐にわたり関連付けることが可能となる。現在は教科ごとに異なる教員が別々のカリキュラムのもと教えているため，他の教科との連携がとられず，生徒が学習する時期もまた同期しないことが文理融合といった横断的な取り組みが進まない原因であると思われる。これを解決に導くために提案された学習展開は，科学領域に限らない多様な興味を持つ生徒を引き付けるために有効であり，「現代社会と理科は密接な繋がりがあるのだと知った」という生徒の感想からも，学習の動機付けにつながることを確認することができたといえる。

学習展開においては，開発教育等で用いられているファシリテーションとアイデアの視覚化を用いることで，グループ内での知識創造が活性化するよう試みた。メディアから得られた知識，情報をグループ内でカードに書き出し，意見を出し合いながら，視覚化し，課題から生じる現象，もたらされる影響や結果，社会がとるべき行動といった順序で系統的に分析していく。その後，実験課題が与えられ，生徒は，実験手順（シナリオ）の構築に取り掛かる。すなわち，生徒が単なる知識，情報の受容者ではなく，能動的な生産者としての役割を果たす環境を設定し，改善に結びつけることで，付加価値の創生につながったと考えられる。

従来から，学校における実験では，1 限という限られた時間内で効率的に作業を終えるように，実験手順はあらかじめ教員によって作成され，記載された通りに実験を進めることが一般化されている。これに加え，仮説や予想を実験に取り入れることもなされてきているが，アプローチとしては，やはり生徒主体，能動的というよりも，むしろ，設定された軌道上を生徒が「横並び」を基本に実験が進められ，教員によって「コントロール」されているように捉えることができる。

日本の学校では，未だ 40 人学級が常態化している中，PISA や TIMSS での高いスコアを維持している背景には，教員の教授力，学級マネージメント力，知識力等すべて備わっているからこそ成し得ていることは，間違いない。しかしながら，中等教育の段階から，そこから輩出される人材が，はたして産業界のニーズを満たしているかという，次の次元にまで洞察力を高めていくためには，上記学習展開にあるような，自己決定を取り入れた新たな提案が求められる。

若者の雇用，産業界のニーズへの教育的配慮

統計から明らかなように，高等学校から大学まで一貫して，新規卒業者の離職率は全国的に例年 3 割前後という高い比率を維持している。また，青森県においては，毎年，高等学校卒業の新規就職者全体の約半数にあたる人材が，他県での就職に進路を見い出している。学校の維持管理，教材，教具関連費用，教員給与，行政事務費用等は，地方税，地方交付税交付金等を含む県の予算から配分され，教育向けに投資がなされていることを考慮すれば，人材の早期離職や県外流出に伴う損失は計りしれない。したがって，教育と地域産業が一体になって，両者の連携を図り，カリキュラムを構築していくことを視野に入れていかなければならなく，そのためにも，現行の教科ごとのカリキュラム編成や教員養成課程を見直しすることや，県や広域連携自治体単位で責任を持ち実施できる体制を組めることが望ましいといえる。

特に，産業界（製造，非製造業ともに）の多くが今後取り組むべきこととして挙げている，新規需要の掘り起こしや，既存事業の高付加価値化といった，やや漠然とした大きな課題に挑戦することが，次世代の産業を担う生徒には求められ，そのために有用となるキーコンピテンシーを養う教育への転換が急務である。科学技術コミュニケーション推進事業において実施されたコンピテンシーチェック（事前アンケート）においては，自身の考えを他人に伝達し説得させること（1. persuasion）や，聞く人に分かりやすいように質問する（2. clarification）といった，受益者間，グループ間でのアイデアの共有や創造に欠かせないコミュニケーションスキルの向上を図る必要があることが分かった。また，学校の実験では，自己決定を伴う手順の構築といった，創造的活動の少なさからか，新しい独創的なアイデアを提案（3. creativity）することに難を示す生徒が多かった。

提案された学習展開は，生徒が持つと思われた上記 3 つのスキル獲得につながる要素を取り入れ，それを実行した。それとともに，情報端末やデジタルセンサの利用といった先進的な教材の活用も含めたパッケージとしての提案を行い，有用性や効果等について，教育現場の教員から賛同する声を多く受けた。事実，生徒や教員の感想から，学びや実験を行うことに対する動機付け，現象観察力の向上につながることも確認された。特にハード面の理由から，現状のカリキュラムに取り込むことの難しさを指摘する意見が挙げられたものの，今後，行政や地域の中核となる大学が先導する形で，学校教育と

産業との連携，連動を視野に入れた教育が推進され，予算配分や利用規則の緩和がなされていくことが望ましい。

免許制度，教員養成 - 地域の参加

現在，教員志望者は，学校の教科である国語，数学，理科，社会等，それぞれについての専門免許を必要とされる。教育学部の教員養成課程において，学生は，学部内で当該教科に関わる科目（単位）を修得することが通例となっている。あくまで提案ではあるが，このような科目は，人文社会学部や理工学部等，他の学部の授業をもって単位化し，教育学部においては，学校カリキュラム，教育方法，発達心理，幼児教育，小学校教育，道徳といった教員の一般的資質，能力として欠かすことのできない教職科目の授業のみを集中実施する。したがって，学校の教科に連動した形の講座運営や免許区分というよりは，下表に示されるように，同一系統内，系統間の専門科目単位を一定数以上修得し，さらに教職科目を修めれば，社会文化系免許，科学文化系免許，芸術文化系免許という広い枠組みの「普通免許」を取得する権利を得る。正式な免許については，学校配属後，一定期間訓練生としての経験を積み，各教育委員会によって設定された条件を満たした後に授与される方式とする（ここで初めて「教員」という立場を得る）。

選択（人文社会学部，理工学部等の授業を出席することによる単位）

系統	教科区分
社会文化系	国語，英語，社会
科学文化系	理科，数学，技術，家政
芸術文化系	音楽，美術，保健体育

必修（教育学部/大学院）

学校カリキュラム，教育方法，発達心理，幼児教育，小学校教育， 特別支援教育，道徳，総合的な学習，コンピテンシー教育等

「専修免許」取得するには，在職中に，それぞれの系統の専門科目の単位取得数を増やし，加えて教職大学院において教職科目を深化させる仕組みとすれば良い。この制度の意図するところは，多様な興味，関心を持つ学部生時から１つの教科（国語，数学，

理科，社会等）に専門を狭めるのではなく，同じ系統内や系統間の単位を履修しておくことで，自身にどの教科が適しているのかを訓練期間中に周囲の助言を得ながら判断していくことにある。また，専門領域の幅を広げ，単一教科にとらわれない教員（つまり，他教科との連携の重要性を意識することができる教員）を養成することも挙げられる。教科横断については，教育学部にて，キーコンピテンシーや地域社会，産業との関連付けを重視した学習展開や教授法を学ぶことになる。したがって，教育学部の授業は，学内の教育研究者とともに，学校教員，行政職員や民間企業の担当者がオムニバス形式でカリキュラムを編成し，授業を進めることになる。

上記提案のような制度を進めるには，教員志望の学生（つまり教育学部の学生）は，専門科目を履修する先の学部学生と同等レベルの学力をもって授業に望まなければならない。逆に各専門学部で，教員志望の学生がいれば，教育学部の教職科目を履修すれば良いことから，現在，異なる学部で類似の授業を行っているという，大学経営上の非効率性も改善につなげることができると思われる。

II.　研究，アウトリーチ活動等の省察と課題

提案された学習展開とその実施

本研究のアウトリーチ活動として実施した一連の実験講座ならびに研修会では，21世紀のグローバルな課題を大きな概念とし，理科，社会，技術，家政といった複数の教科を横断し，生徒のナレッジウェブ構築を促すことを参加者に意識付けた。またデジタルセンサを用いることで，将来の科学的労働者として産業の生産性向上に寄与するためのキーコンピテンシーを身につける学習展開を提案した。特に，生徒自身が，課題解決のための実験の手順を組み上げ，独創的なアイデアを生み出すといったアプローチは，これまで学校における一般的な実験手法とは，異なるものであったといえる。

しかしながら，学習展開はその特性から，必然的に取り扱う範囲が広く，また複合的なスキルを要するために，一度の講座や研修会で伝達することは困難が伴った。特に2013年度の教員向け研修会では，中学校教育研究会や部会会合の比較的短い時間（2～5時間程度）を頂戴し実施したことから，ICT 機器の操作方法の習得から始まり，学習展開のコンセプトを紹介するといった導入部をこなすために，その後の実践部に十分な時

間を割けない状況が見受けられた。したがって，単純に情報端末とセンサを科学実験に取り入れることが研修の中心になる傾向にあり，学習展開における調査，探求やファシリテーションを主体としたグループワーク（社会的文脈をその後の科学的文脈に接続する役割）は，紹介のみにとどまり，ほぼ実行はできなかった。

一方で，そのような概略的な研修であったにも関わらず，「キャリア教育につながる内容で，とても良かった」「幅広い視点で，動機づけしていくことは今の理科教育では不可欠なこと」といった感想を受けた。このことからも，生徒が将来活躍するであろう社会や産業の視点，そしてそこで使われるコミュニケーションを生むための技術を学習展開に取り込む試みは，方向性としては正しいものであったと確信している。これを裏付けするものとして，文部科学省のグローバル・ハイスクール構想では，「急速にグローバル化が加速する現状を踏まえ，社会課題に対する関心と深い教養に加え，コミュニケーション能力，問題解決力等の国際的素養を身に付けること」目的化している［文部科学省, 2013b］。今後このような行政主導の取り組みが進められていく中で，提案された学習展開の認識もより高まっていくものと考える。

多様な背景を持つ教科教員への対応

2013 年度の研修会では，理科，技術，数学教員のみならず，社会，英語教員等の参加もあったことから，いくつかの論点が挙げられた。主に「どのように自分の授業に生かせるのか分からない」「専門的で内容が理解しにくい」「理科以外で活用できる実践例を示して欲しい」といった内容であった。研修会の冒頭，科学コミュニケーションの意味について触れるようにし，ここで取り扱われる科学は，市民が持つべき汎用性の高い知識，素養を意味し，深い科学的知識を求めているわけではないことを説明した。特に，教育で有用な「双方性コミュニケーション」という理念は，市民の言語活動にも通じるところがある。例えば，多国間での社会的背景の相違から，グローバルな課題が解決できない，もしくは新たに生じてしまう事例がある。生物資源，水資源といった自然環境に関わること，遺伝子組み換え技術といった人類の食料供給に関わること，化石燃料の消費といったエネルギー供給や越境汚染に関わることが挙げられる。いずれも生徒がメディアを通じて日常的に入手可能なトピックであり，これらをきっかけに，自身の見方，考え方を表現し，共有するという活動を行うことは，学校の理科に限ったことではなく，他の教科や総合的な学習においても今後よりその重要性が増すものと思われる。

このような言語活動といった場で外国語が利用できることの大きな目的は，異なる文化，思想を持つ他国の市民とコミュニケーションをとり，対話に基づいて解決に導くことであると考える。習得した言語を活用するという意味において，諸外国の情報源（政府機関，文化・観光機関，企業，科学館，博物館，NGO 等，中には子ども向けに制作されたものもある）のホームページを開き，日本との比較をすることは，科学に関わる多面的なものの見方を養うことにもつながる。例えば次のような活動を学習展開に取り入れることができるであろう。いずれも 21 世紀の課題につながるテーマである。

- CO_2 排出量削減についての日本政府の立場と，他先進国の立場，そして途上国の立場にはどのような違いがあるのだろうか。排出量取引といった取り組みは，途上国では推進されているのだろうか。
- 先進国で大量に消費されるファストフードのために使われるヤシ油の生産国では，市民の収入はどれくらいであるのだろうか。どれほどの熱帯雨林がこの生産のために伐採されたことになるのだろうか。
- 日本のロボット技術（ヒューマノイド）は，海外ではどのように捉えられているのだろうか。そこに宗教的思想の影響はあるのだろうか。今後先進国が迎える超高齢化社会を支える技術として，果たして機能するのだろうか。等

提案された学習展開は，いくつも存在する 21 世紀の課題の一部を導入したに過ぎないが，エネルギー，環境教育，産業教育，キャリア教育，ものづくり教育といった，横断的な取り組みを行う上で，中学校，高等学校における総合的な学習に適しているという意見を多々受けた。したがって，最終的には科学実験を「ツール」として位置付け課題解決に取り組むものの，そこにいたるまでのプロセスは，言語活動やナレッジウェブの構築を含む多様な教科の複合体であることから，理科教員のみが責任を有するのではなく，各々の教員が教科横断を意識した授業展開やカリキュラムの構築ができるように，互いに連携を深める必要がある。また，教員養成段階での意識付けが欠かせないとの考えは，前述の免許制度，教員養成の項で述べた通りである。

学習実施後の評価と学校への導入

その他，工学的アプローチとは異なる，この提案された学習展開の実地検証から，生徒の学習への動機付けにつながるというその有効性や効果を確認することはできたも

のの，個々の専門的知識を与えられたか，また能力向上に寄与したか，という問いに対しては今後議論を要するであろう。2012 年度の中学・高校生向け実験講座では，キーコンピテンシーを評価するための事前アンケートの実施とともに，学習状況に応じた能力の確認ができるようなルーブリック評価表を作成し，活用を試みた。しかしながら，「創造性とイノベーションスキル」「協働性とコミュニケーションスキル」「メディア・情報リテラシー」「科学的スキル」といった項目は，初対面の生徒であること，時間が限られていること，また，活動を進めることに注力し，評価にまで手をつけられないこと等，いくつかの問題点が挙がった。このルーブリックによる評価手法を確実に実施するには，実験講座のような単発の授業ではなく，学校のカリキュラムに継続的に活動を取り入れ，生徒の能力変化を追跡することが望ましい。それによって，学習展開の実施・未実施のクラスにおける差異を見い出すことができると考える。

学校への導入の際，学習展開の性質から時間割についても考慮しなければならない。一般的な配分は，基本的に時限単位（40～50 分）であり，その中で 1 つの小単元（もしくはトピック）を完結させ，次の授業へとつなげる。通常それは，「導入」から始まり，「展開（実験）」そして「まとめ」という単調な流れになっているが，提案された学習展開はこのような流れにはそぐわない。ナレッジウェブの構築のための事前調査（連結を図る個々の単語の意味を調べる）は，教員による知識の伝達ではなく，貸与された情報端末を用いて生徒はメディアにアクセスし，生徒自身が前もって準備をしてくることが必要となる（これを促すことは家庭における保護者の役割）。そこで得た知識を 1 限目の授業でグループ単位で持ち寄り，アイデアの視覚化によって知識を共有し文章としてまとめ上げる，いわゆる言語，創作活動となる。教員はファシリテータに徹し，活動の円滑さを保つために適宜，助言を行う。2 限目は，ナレッジウェブに接続する科学的文脈を示し，そこに関連する実験課題について，グループ内で手順を構築し，実行に移す。ここでは，満足いく結果が得られるまで，可能な限り手順を見直し，改善を施す。3 限目は，得られた結果を用いた，数理，計算問題を解き，その活用を促すことで，学習のまとめにつなげる。

地方都市，青森県の文脈において

高度情報化社会の中で，メディアを介し，国内外の動向や異なる文化，背景を持つ市民の考え方までも，比較的容易に入手することができるようになった。社会的地位や

立場が低く，また，経済規模が小さな地域に暮らす市民（マイノリティー）にとって，批判的思考を持たずしては，そのような膨大な情報に含まれる意図や偏った考え方に，自己の判断と決定を容易に左右されかねない。人的資産としての人材を養成する教育（特に地方都市において）は，将来の労働者の価値と潜在力を高めるために，より広い視野でそこに住む市民の能力開発に望まなければならないと考える。例えば，自由貿易化の流れと，アジア諸外国の経済成長という事実は，一見科学の視点からかけ離れているかもしれないが，果物，野菜，乳産品等の輸出拡大の機会を目の当たりにしたとき，いかに第一次産業を高次産業に結びつけ，生産性を高め競争力を維持するかは，まさに課題解決型，異領域横断型のスキルを要することであるといえる。

グローバリゼーションが進む中で，地域社会にとって望まない，もしくは不利益を被る可能性のある政策，制度が提示され不可避となったときには，そこから何を得られるだろうかという思考ではなく，そこから何を創り出せるかという課題解決型の思考を持てる人材を育てられる教育でありたい。途上国，新興国においては，今世紀半ばにかけ，農業から工業基盤への本格的な移行期に入る。半世紀前に日本が経験してきたような農業人口の急速な減少と，食物の輸入依存に象徴される社会，産業構造の大きな変化が起こることになる。このような状況においても，全体としては増加し続ける人口を支えるために必要となる食料生産とその加工技術の輸出，その他ローカライズ製品の開発等を通じた新たな事業の展開と販路の拡大は，青森県の社会経済の成長にもつなげて考えることができる。このような不確定要素の多い，非マニュアル的な仕事環境においては，労働者の養成とその受け入れ，つまり教育と産業の間で高い接続性が求められる。

最後に重ねて記述するが，地方都市，青森県にいたっては，域内の競争力を維持するための労働力人口が急速に減少している。生産高への寄与が最も大きい若年層（20～40 歳）の労働力率は 80 %前後で推移している中，これを 90 %にまで引き上げること，また，現在 30 %前後で推移している卒業者の離職率を 20 %にまで引き下げること，といった具体的な数値目標を持つことが必要である。域内のポテンシャルを生かした持続的な発展のために，教育，産業，行政が果たせる役割を明確にしながら，知識創造や課題解決を取り入れた人材育成事業としての性質を持つ教育を志向していきたい。本研究の成果は，そのための一提案として捉えることができる。

結 言

本研究では，日本の地域社会における産業，雇用状況の調査を基に，将来の労働者である生徒に求められる資質，能力 – キーコンピテンシー – の養成を伴う，学習展開の開発を行った。まず，学校教育と社会そして産業は，人材の供給者と需要者として接続していることから，双方性の科学コミュニケーションという概念を導入することで，互いの認識が深まるよう試みた。そして，教科としての理科を，単に「自然科学の探求」と捉えるのではなく，むしろそれを学習することで，社会で果たされる科学技術の役割，意義，つながり等について認識することができる展開とした。その中で，21 世紀の課題を用いた教科間の横断的思考（ナレッジウェブ）をもって，学習への動機付けや生徒自身が持つ価値観の高まりにつながるよう配慮した。

開発された学習展開の中で，横断性確保のためにハブとして機能する 21 世紀の課題は，エネルギー，環境，大気汚染，食料供給，水資源，人口移動，生物資源等多岐に渡り，生徒にこのような課題を通じて，グローバル社会の中で，自身やその暮らし，地域社会，産業に及ぼされる影響について，大きな概念「Big idea」を持つことになる。近年教育の情報化の流れの中で，教員と生徒にとって必要なスキルとなり得る情報通信技術の利活用を促すために，メディアを通じた調査と言語活動を取り入れ，入手された知識情報をグループ内で持ち寄り，系統分析するための環境設定（ファシリテーションとアイデアの視覚化）を行った。

このようにして作り上げられた生徒の横断的思考をもって，それに関連する科学実験，自己決定を伴う課題解決型アプローチを導入した。労働市場における仕事形態は抽象的で，かつ非マニュアル的になりつつあること，また労働生産性の観点から価値創生のためのスキルが求められていることから，筆者はこの科学実験を生産プロセスを考慮した「創造性を養う場」として位置付けた。つまり，従来，あらかじめ準備された手順に沿って実験を行う手法が主流であったが，ここではグループ内のディスカッションによって，デジタルセンサを取り入れた独自性の高い実験手順を生徒自身が計画する（Plan）。そして，それを実行し（Do），現象から生じるデータを確認し（Check），必要があれば，当初の手順を調節し（Adjust），改善につなげる。このプロセスにおいて，生

徒はある種生産者として，つまり当初の設計された情報を転写させながら，出力される価値を高める作業を行っていることになる。

提案された学習展開の検証のために，外部法人，団体からの支援を受け，生徒向けの実験講座ならびに教員向けの研修会を実施した。アンケート，感想等から判断すれば，社会的文脈の中で科学を取り扱うことによって，生徒の科学に対する認識が高められること，また科学領域に限らない多様な興味関心を持つ生徒を授業に引き付けるために有効であることが確認された。なぜ科学を学ぶのか，なぜ実験を行うのかということを，明確にする効果が生まれ，結果，生徒の動機付けや他教科との接点を気付かせることが可能になった。生徒が単なる知識の受容者ではなく，能動的な生産者であるという考えのもと開発された学習展開によって，生徒の知識創造と自己決定感の高まりにつながったものと推測できる。一方で，現状の教科という深い専門性が求められる教員にとって，異なる教科の学習内容に踏み込み，また他教員と連携を図りながら実践するには困難が伴うという意見を受けた。また，利用可能な情報機材が限られているという運用上の問題，そしてあくまで生徒の学習段階，能力に合わせた導入になるであろうという意見も挙げられた。

以上のような結果から，学校教育への適用の難しさを理解することになったものの，同時に，本学習展開の必要性や有効性を確認することもできた。今後は，理科以外にも，横断的思考のある総合的な学習や，高いレベルの自己決定が求められる開発教育，そして市民参加型の社会教育の一環としての活用が可能であると考える。

教育学研究を終えて

過去を振り返ると，研究のために大学院への進学を考え始めたきっかけは，株式会社島津理化に勤務していた 2010 年末，米国パスコ社の代理店会議に出席するためにスイス・バーゼルを訪れたときであったと思う。当時副社長であった Wayne Grant 氏のプレゼンテーションから，教育と経済の接続性を考えることや，知識経済指数（KEI）や人間開発指数（HDI）といった国際統計についての話しを聞き，大きな関心を持った。同時にバーゼルで開催されていた World Didac（教育機器展）では，情報通信をはじめ，教育工学に関連する機材の開発とその導入に，各国がしのぎを削る様子に感銘を受けた。特に，新興各国の関係者においては，日本が歩んできた基礎を一段飛ばしてまで，教育を次のレベルに高めようとする気概さえ感じ取れた。

それ以降時間を見つけては研究活動のための調査に取り掛かり，東北という土地に一度訪れてみたいという思いがあったことからも，青森県の弘前大学へ進学することとした。本稿で記述した通り，青森県は，経済状況，労働環境は決して良くはなく，また教育の情報化にいたっては最も遅れている県の 1 つである。一方で，将来の人的資産となる生徒の学力は，全国トップレベルを常に維持しているという点に興味を引かれた。このような小さな県単位（人口 130 万人規模）での教育と経済，産業の結びつきは，大都市部のそれに比べて，より明確に表れるのではないだろうかと推測をした。

入学試験の面接時に指摘された研究に必要な機材の購入について，幸いにも外部資金を得ることができ，この 2 年間のアウトリーチ活動を有意義に進めることができた。特に，むつ小川原地域・産業振興財団から支援をいただけたことは，教育と地域産業，そしてそのための人材育成との接続性を確保する上で，互いの認識が一致したのではないだろうかと考えている。また，“21 世紀の課題” という，誰もが無関心ではいられない時事を用いることで，大きな概念を活動の参加者に伝達することができたと思う。科学が果たす役割を知り，地域社会と産業の持続可能な発展に取り組むための人材育成と教育力向上に役に立つものと信じたい。

新興各国における教育政策の中枢に，必ずといって良いほど科学教育の質の向上が

掲げられている。これは，科学教育によって出力される人材が，知識経済，産業発展のための原動力となるという一貫した考えがあるからであろう。このことは本研究を取り組む上での動機付けともなり，また，躍動する新興社会における教育の動向を視察するために，タイの教育コンフェレンスに参加するきっかけともなった。これまで知識，技術を供与する立場であった日本を取り巻く状況は，いよいよこのような発展著しい国々から多くのことを学ぶ立場に置き換わってきているだろうと率直に思った。

研究活動を通じ，地方都市とりわけ青森県の社会的文脈と教育のあり方を，グローバルな視点に絡めて深く考えることができたことが，私にとって一番の収穫であった。今後，10 年，20 年のうちに，世界経済の台頭は現在の新興国に取って代わることが予想される中，今のうちに地方都市の地域力と人材のポテンシャルを最大化しておくことは，グローバル化の中で生き残っていくための必須要素になり得ると考えている。

この 2 年間で習得したすべてを今後の活動につなげていきたい。

学会･研究会，論文等一覧

修士課程在籍中，国内外の各種学会，研究会に積極的に参加し，情報収集，発信ならびにネットワーキング活動をするようにした。ここでは，いくつかの概要とともに，その発表内容についての記述をする。また，学内発表の資料等についても併せて添付する。

期間	学会・研究会名	テーマ	主催者	開催場所	発表・参加形態
2012 年 7 月 7 日～8 日	Pacific-Rim Conference on Education, 3rd http://pacificrimeducationconference.org/	"Teacher Education and Professional Development”	Illinois State University	北海道教育大学札幌校	聴講
2012 年 11 月 7 日～9 日	International Conference on Innovation in Education(ICIE), 1st http://www.il.mahidol.ac.th/icie/	"Innovative Science, Mathematics, and Technology (SMT) Education for Enhancement of Learning for the 21st Century”	Institute for Innovative Learning, Mahidol University	Bangkok. Thailand	聴講
2013 年 8 月 10 日～11 日	日本理科教育学会全国大会（第 63 回） http://www.sjst.jp/sjst/cms/	"理科教育の未来を切り開く”	日本理科教育学会	北海道大学高等教育推進機構	研究要旨，口頭発表
2013 年 9 月 13 日～14 日	International Conference on Educational Research(ICER), 6th http://ednet.kku.ac.th/icer2013/	"Challenging Education for Future Change”	Khon Kaen University	Faculty of Education, Khon Kaen University, Thailand	研究論文，口頭発表
2013 年 9 月 13 日～16 日	APEC-Khon Kaen International Symposium	"Emergency Preparedness Education: Flood and Typhoon”	APEC Khon Kaen University	Faculty of Education, Khon Kaen University, Thailand	聴講
2013 年 11 月 9 日	日本科学教育学会北海道・東北支部研究会 http://www.jsse.jp/jsse/	"今，科学教育に何が求められているのか”	日本科学教育学会	岩手大学	研究論文，口頭発表

International Conference on Innovation in Education (ICIE), 1st

学内報告書

1st International Conference on Innovation in Education

参加報告（タイ-バンコク, 2012 年 11 月 7 日～9 日開催）

弘前大学 教育学研究科
理科教育講座　本間 正範

はじめに，近年，科学/技術/数学（STM）教育が知識基盤経済への有力な原動力となるという考えのもと，世界的に STM 教育への投資が積極的に行われている。アメリカにおいては，今年 7 月に，「STM 教育改善への努力は，国として最善を尽くすときに他の何よりも大きな違いを生むことができるだろう。そして，最良な STM 教育を受けた学生は，国が持つ実質すべての課題 ― 例えば，経済的繁栄，国際競争力，国家防衛，安全保障，クリーンエネルギー，そして健康的な国民生活 ― に対し，欠かすことのできない存在となるだろう。」という科学技術政策局の考えに則り，1 万人規模の優れた STM 教員を今後 4 年間のうちに新たに養成するという発表がなされた。また，STM 向けの教員養成，現職教員教育，カリキュラム開発といった動きは，ケニアを中心とした SMASSE（中等理数科教育強化計画プロジェクト ― 日本国 ODA 支援）のアフリカ全域での取り組みから，イギリスにおける最近の技術単科校 University Technical College 新設やヨーク大学附属の National STM Centre 設立の動きにまで広がる。(参考までに，STM の他，アメリカ，イギリスでは，STM に工学(Engineering)を加え，STEM としている，タイでは順序を変え SMT と呼ばれる.)

アジア地域における STM 教育への取り組みはどのようなものだろうかと調査をしていたところ，弘前大学協定校のコンケン大学教育学部がオーガナイザーとして関わった International Conference on Innovation in Education（以下，ICIE）開催の情報得たことから，今回参加するに至った。テーマは Innovative Science, Mathematics and Technology, Education for Enhancement of Learning for the 21st Century であった。ICIE は以下のオーガナイザーの共同開催とし，本年度はバンコクにて開催された。

タイ　：　Institute for Innovative Learning, Mahidol University（マヒドル大学 Innovative Learning 研究科）
Faculty of Education, Khon Kaen University（コンケン大学教育学部）
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology（ラジャマンガラ技術大学工学部）
Southeast Asian Ministers of Education Organization Secretariat（東南アジア教育大臣機構）*1
Kenan Institute Asia（ケアナンアジア研究所）

台湾　：　National Taiwan University of Science and Technology（国立科学技術大学）

＊1　東南アジア教育大臣機構は，教育，科学技術，文化を通じ，ASEAN 諸国間の協力を促進することを目的として，1965 年に発足。事務局は，タイ（バンコク）。筑波大学が，2009 年 4 月に SEAMEO 共同機関（Affiliate Member）に参画。

主催者発表によれば，参加者数はおおよそ 200 人で，タイ以外には，フィリピン，台湾，バングラディッシュ，マレーシア，ニュージーランド，アメリカ，日本からの参加であった。タイの教育システムは日本と同じ構造（6－3－3）であり，これとは別に，特に農村部で学校に通わせることができない生徒に対して，短期トレーニングコースや非正規教育が認められている。しかしながら，小学校での就学率はおおよそ 70～75 ％となり，ミレニアム開発目標の「初等教育の完全普及の達成」すなわち，「2015 年までにすべての子どもが男女の区別なく初等教育の全課程を修了」は未達成の状態といえ，中央政府は，地方政府へ就学率向上の取り組みとともに，私立学校の設立を促している。タイは，2007 年から 2011 年の社会経済開発計画において“グリーンで幸福な社会”の実現に向け，10 の計画を掲げ，教育に関する計画は以下の通りである（全 7 つ）。

・教育システムの質改善
・すべてのタイ人が最低でも 12 年の基礎教育を受けられること
・教員の質とモラル向上のための教員研究の構築とその実施
・情報機器の広範な利用による学習効率の強化
・高等教育の質と評価基準の開発
・教育規則遵守の促進と改善
・教育管理とプランニングに関する改善

STM 中の数学領域においては，コンケン大学教育学部長 Inprasitha 氏の基調講演があり，そこでは，現在教育に求められている知識構築，知識活用能力，省察能力，同僚との信頼関係とその構築，継続的なピアサポート等に対応する専門教員の養成のために，日本方式の「授業研究」が最適との見方が紹介された。Inprasitha 氏は，教育学部附属の CRME（Center for Research in Mathematics Education：数学教育研究センター）の代表をなされており，帝京大学の清水静海氏（算数・数学教育学，日本数学教育学会会長）や筑波大学教育開発国際協力研究センターの礒田正美氏（APEC プロジェクト代表)が関わり，日本の授業研究やオープンアプローチの手法を取り入れるためにタイ北部にて 2007 年より実地検証を始めている（学校図書に算数教科書をタイ語に訳して取り入れている研究も紹介されていた)。

しかしながら，コラボレーションを得意とし皆で良いものを作ろうとする日本人の授業研究のように，互いの授業について協働で授業案をつくり（Plan），実施し（Do），改善する（See）ことの困難さは，他のタイ人研究者から指摘が挙げられていた（単一民族国家の日本に比べ，タイは地理的にも様々な民族が混ざり合い，互いに無干渉つまり個人の独立心が比較的強いから，という理由付け。最初から最後まで協働で行うのではなく，アンケートを用いた事後評価のみで十分との意見であった。）

来年 3 月には，タイ・プーケットにて東アジア数学教育会議 EARCOME（East Asia Regional Conference on Mathematics Education）がコンケン大学主催で開催され，日本の数学教育研究者も多く参加する予定とのことである（3 年ごとに開催される会議で今年で 6 回目。昨年は東京で開催された）。このような場が今後催される際には，弘前大学教育学部の Tuesday 実習や附属小中公開研究会等，授業研究に関する特長ある取り組みを紹介すると関心を示していただけるように思える。

同じくコンケン大学から参加の Srisawasdi 氏と Artdej 氏に今回お会いできたことは幸いであった。いずれも教育学部科学教育プログラムの講師（それぞれ物理，化学）であり，Srisawasdi 氏はアメリカに留学中コンピュータ計測機器を利用した科学教育法を学び，タイに持ち帰り研究と普及活動に努めている。学生指導に熱心に取り組んでおり，ICIE ではコンピュータ計測を利用したワークショップ運営を学部生に任せておられた。大学での学習内容を英語で発表できる場が与えられていることは，とても恵まれており，またそれをこなそうとする学生の努力，頑張って意思を伝えようとする心構えに感銘を受けた。

これまでの研究結果によれば，科学的現象の発生とその時間的遷移を観察する際，アナログ計器による実験では「現象から得られる結果を整理しグラフ等の形式で情報化するまでに多くの時間を要していた」ことがいえる。このことは特に，限られた授業時間内において，観察や考察に費やす時間に制約を与え，かつ実験の初期条件を変えて繰り返し観察することを困難とさせた。したがって料理本のように 1 から順に手順を列記し，失敗しないように（必ず教員が求める結果が出るように）実験を行うことが慣習であった。Srisawasdi 氏は，上記数学教育と同じくオープンアプローチを採用しており，中でも実験手順については生徒がグループ内で議論し決めることを優先とさせていた。すなわち，実験結果はグループごとに異なることになるため，結果の良し悪しを採点するのではなく，Conceptual Evaluation（概念評価 － 結果ではなく，プロセスにおいて科学概念が身に付けているかを評価する）を取り入れているとのことであった。このことは，今年度研究題材として実施している，科学コミュニケーション実験講座で採用している手法に近く，したがって，現在の研究の方向性に一致するものであった。

ワークショップで使用していたコンピュータ計測機器は，アメリカ Vernier 社が科学教育用に開発したもので，私が今年 3 月まで勤めていた先で担当していた計測機器（こちらは Pasco Scientific 社製）と同様のコンセプトをもった製品であった。また，コロラド大学の研究チームが開発した PhET Interactive Simulation（Java プログラム）を併用することで，計測によって得られるデータのみでは観察することのできない分子レベルでの物質の挙動を観察する取り組みも紹介されていた。コロラド大学では，このプログラムのソースコードを公開しているため，各国の言語の自由に翻訳することができる。

今回の ICIE では，イノベーションと 21 世紀の教育強化を題目とし，国内のみならず，アメリカやニュージーランド，台湾等各国から基調講演者を招き，タイの教育へ反映させようとする積極性を感じることができた。これだけ STM 教育へ関心を持ち，そして大胆な投資が行われていることは，その教育から生まれる知識層を求めている海外企業やその工場誘致によって，投資した分に見合う以上の経済的利益を受けていることなのだろうと思った。事実，タイの失業率は，モナコ，カタールに次いで，世界で 3 番目に低いレベルに抑えられている（2012 年第二四半期で 0.85 %）。

本来，教育におけるイノベーションとはどこから得られるものか考えてみると，授業での教員一人一人の小さな工夫からであるといえる。そのような工夫を教育学会や授業研究，自主的な研究会で共有し授業改善につなげる取り組みが日本の教育に根付いていることに他国は学ぶことが多い（ボトムアップを図る環境が整っている）思うが，上記の通り，文化的背景から困難といった見方もある。また一方で，大きな政策のもとトップダウンでイノベーションを教育にもたらそうとする取り組みには，中々学校教員の思想とは相容れないのではないかとも感じたが，それは現場教員の自主発展性を重んじてきた日本人の独特の感覚なのかもしれない。

テクノロジー（タブレット PC，クリッカー，遠隔通信，ユビキタス，クラウド等）を単に授業に導入するのではなく，新たな教授法を伴わせる必要であるといった点は，参加者で一致していたものと思う。日本で 10 年間教育研究に携わった Inprasitha 氏やその学生の授業研究に関する発表は，むしろこのようなテクノロジー自体の利用から少し離れ，日本の教科書に掲載されているような体感を伴う学習（例えば，箱の中に形の異なる積み木を入れておき，生徒がそこに手を入れ，物体の形を推測する等）を授業研究に取り入れていたこと，そして，他研究者と比べ，より学校教員を巻き込んだ形（北部地域，学校とその教員中心の草の根研究）であったと思う。

今回お会いした方々とはいくつかの共通点を見い出すことができたことから，今後も情報交換や交流を行うことができたら幸いである。

International Conference on Educational Research (ICER), 6th

研究論文，プレゼンテーション資料，発表内容

The Role of Education in Societies Seeking Knowledge Creation: Development of Pedagogy for Secondary School Science Enhanced by 21st Century Challenges

Masanori Homma[1] *(masanorihomma@ymail.com)*
Toru Shimada[2] *(tshimada@cc.hirosaki-u.ac.jp)*
Yukiyasu Chounan[3] *(cho@cc.hirosaki-u.ac.jp)*

Abstract

In this paper, we introduce the following possible approaches: First, we examine cross-discipline pedagogy among school subjects such as science, technology, mathematics and social studies, each of which is mostly taught as a separate discipline. Second, creative and innovative pedagogy is being devised that leads students to effective knowledge-creation, and appreciation of the role of science in the social context of the 21st century. Finally, the above two approaches are combined together in order to elicit people's awareness of the importance of education for students who will join future workforces and must be able to exhibit high productivity.

The role of education and especially that of science has been a major contributor to economic growth. Once this growth has stabilised or in some cases even experienced a downturn, education naturally is subjected to a 'change' in course. Cross-discipline approaches, such as STEM (science, technology, engineering and mathematics) for instance, have been attracting not only educators but also people in industry who appreciate strong links among research, development, and manufacturing and 'creative and innovative education' so that investment in education will truly be beneficial to society as a whole.

We argue that in the context of Japanese science education the subject is taught independently. And the curriculum is highly weighted toward 'natural science' despite the fact that science is largely associated with technology, mathematics and society, above all, with important global challenges in the 21st century consisting of climate change, food security, drought, energy provision, transboundary pollution and so forth. We have set these challenges as 'big ideas' in our proposal to let students have a sense of being responsible players tackling the challenges by utilising knowledge-creation.

Since 2012, a number of workshops have been held to examine this method. We present some results that have been thus far obtained, which display a correlation between the increase in student awareness and interest, and their understanding.

Keywords: *21st Century Challenges, Cross-discipline pedagogy, Knowledge-creation, Productivity, Science communication*

1. Introduction

It is reasonable to state that virtually all the activities of human beings are accompanied more or less by values. This becomes prominent when productive sectors are the focal point. The continuous pursuance of added-value and benefit, not only to the sectors themselves but also to the society they belong to, is vital. Directly speaking, or perhaps from a productive point of view, school is a place where

[1]*Graduate Student, Department of Science Education, Faculty of Education, Hirosaki University, Japan (formerly an education officer at Shimadzu-rika Corporation, Japan)*
[2]*Lecturer, Department of Science Education, Faculty of Education, Hirosaki University, Japan*
[3]*Professor, Department of Science Education, Faculty of Education, Hirosaki University, Japan*

youngsters are educated in a systematic manner for them to be 'science-literate and innovative workforce-ready' individuals who can contribute to the socioeconomic growth of society. When this works as planned the huge sum of public investment in education could be considered truly justifiable. This ideal linkage between education and the economy will appear to be more and more apparent and attractive to all the stakeholders in a country where the economy is in need of revitalisation in the course of global competition and aiming to increase people's productivity.

We live in a society where resources are scarce and the working population is dwindling and where, accordingly, productivity always entails argument. School can play an important role in producing and stimulating a situation where students can train in important competencies to bring about higher value in the future. Among many disciplines, science is a subject that involves embedding experiment in the structural flow of curriculum, which is, in the vast majority of cases, handled only by science teachers. These instructors introduce scientific approaches that include assumption, observation and reasoning skills. At the same time, science can also be a subject where students are enabled to have a great amount of ownership, and hence learning actively and creating a certain amount of value in the process of making uncertainty and complexity clear enough to be accepted, through tackling challenges associated with the social context is achieved

We first describe a detail within a problem area referring to national and international statistics on labour capital, productivity, educational expenditure and the quality of science and mathematics education where a deviation from needs of productive sectors is found to be evident. This leads to designing a comprehensive learning process with 21st Century Challenges, using a facilitation method and introducing a cross-discipline approach. This interconnects science with other discrete subject matters that have been taught separately in the past. The challenges provide us with a medium where teachers of different subjects can be fostered to collaborate and achieve greater attainment, especially in their Integral Studies (Sougou-teki Gakushu) classes. And the devised process does not leave learners the basic stage of solely acquiring ideas and skills but also attempts to elevate them to progressive stages from utilisation of the ideas gained for creation of new and innovative ideas.

The learning process begins by giving students one assignment that consists of a statement of challenge, along with related topics (as to produce a knowledge web) and what is to be tackled within his/her group. Relevant media coverage and its structural analysis are also used subsequently to promote student understanding of the topics. A greater amount time is spent on the knowledge-creation stage, where students are encouraged to produce their own procedure or scenario through discussion and collaboration with peers. Students are encouraged to gain and utilise a set of competencies that includes: Creativeness, Innovativeness, Collaboration, Communication, Information & Media literacy and Scientific approaches. Five examples of assignments are presented in this paper in order to provide a better portrait of the lessons carried out in a series of workshops. Student self-assessments post-lesson indicates that over three quarters of the students who participated were able to understand the lesson, and their interest was further fostered by conceiving of the importance of science in our society.

2. Problem Area

The industry-based economy of advanced countries has been struggling over the past decade due both to fierce competition with newly-industrialised countries and to the aging and decreasing working population. Japan is the first country the world has ever seen facing a situation where almost a quarter of the population is over 65, the so-called super-aging society. This fact is a key to understanding why education and knowledge among the younger generation are essential to sustain a future living standard of citizens in a society with fewer numbers in the workforce in productive sectors, particularly the manufacturing sector. The situation in Japan is shown in Fig.1 *[Statistic Bureau, 2013]*.

Productivity is the word used to express how effectively one can utilise knowledge gained to create added value to products as well as to processes, in order to bring about innovative solutions to firms, organisations and societies, where people strive for wealth, profit and better lives. This is the very core of our human activity.

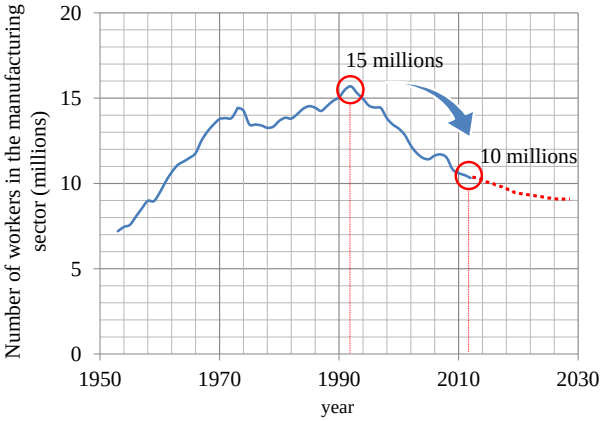


Fig. 1 – Variation of number of workers in the manufacturing sector in Japan *[Statistic Bureau, 2013]*

OECD provides a comprehensive analysis of the productivity of each member country *[OECD, 2013]*. From the results, one can observe that Japan is in a position far behind other advanced member countries despite the fact that it has the third largest GDP output in the world after the United States and China. Productivity needs to be continuously improved in a country where population growth that boosts output cannot be expected anymore in the course of a steady and natural decline. People are therefore required to generate more added value output per head so that at least the present competitiveness, in terms of GDP and the living standard, is going to be sustained. As Fig. 2 indicates, at almost the same amount of public expenditure, $9,000-10,000 per student highlighted in red, Germany, Finland and Canada have been achieving higher productivity than that of Japan, assuming that there is a certain correlation between the productivity of the workforce and the education expenditure.

From an industrial perspective, the World Economic Forum provides compelling statistics regarding the quality of science and mathematics education based on assessment by industry management. The result for Japan is not encouraging, 4.7 out of 7, demonstrating a mismatch between what the industry sector wants and the ability the present graduates possess. As an example, Singapore with 6.3 / 7, Finland with 6.2 / 7 and Belgium with 6.2 / 7 are the top three out of 144 participating countries *[World Economic Forum, 2012]*.

We would like to endeavour to determine what responsible role education, especially in the field of science education and related areas, can play in contributing to the increase of productivity of future workforces made up of those more favoured not only by industry sector but also other productive sectors such as agriculture, information & communication and services, where apparently 'science-literate workers' could become vital human capital.

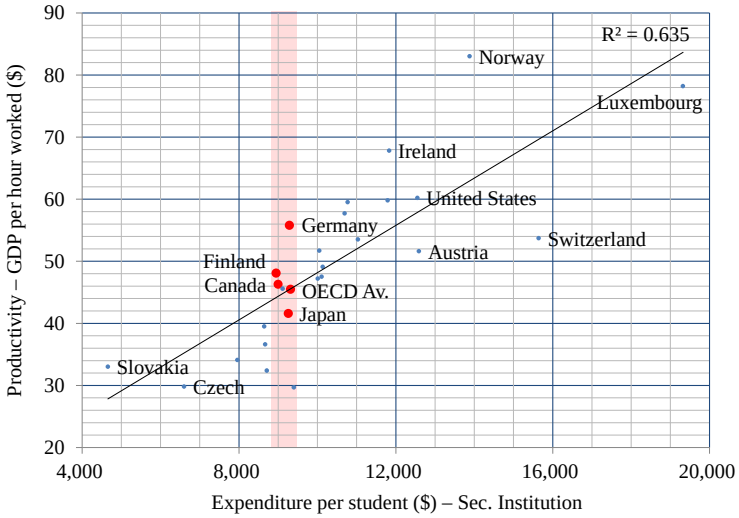


Fig. 2 – Correlation between productivity of the workforces and public expenditure per students (*[OECD, 2013]* and *[OECD, 2012]* – recreated by authors)

3. Design Concept

Being overwhelmed by a rich amount of information through media and social-networking through ICT, today's students are thought to be more sensitive and even more aware of themselves as influential members of the global society. We set out to design 21st Century Challenges for students to actively engage themselves in the learning process. They are expected to take a great deal of control over what and

how they will tackle associated with the challenges presented.

Learning science independently as a single discipline cannot be an efficient and effective way for modern students to become fully competitive in dealing with challenges involving dialogues among stakeholders with different backgrounds endorsed by their own social context. This may be partly because in real life, doing science is boldly interrelated with many other fields of studies, such as technology, environment, energies, agriculture, politics, humanity, laws and social studies, all of which are essential parameters for our societies. 21st Century Challenges serve to provide students with a big idea and a clear indication of strong connectivity between what they study in school and the social matters from local and global perspectives. We propose a cross-discipline pedagogy which enables students to comprehend the links and utilise their own ideas through stages II and III that lead to innovative solutions, as described in Fig.4.

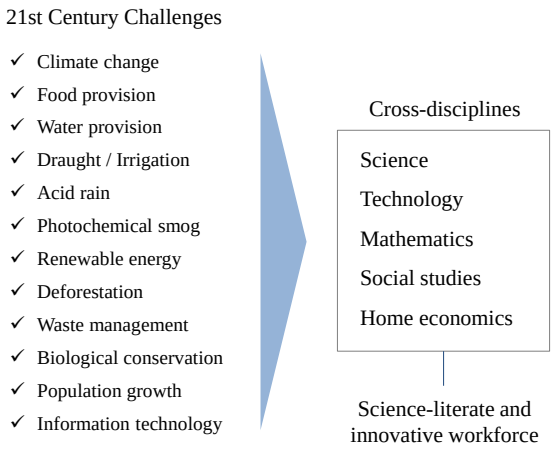


Fig. 3 – 21st Century Challenges covered by 5 subjects of cross-discipline

From an industrial point of view; 'innovation is the process by which organisations and enterprises master and implement the design and production of goods and services that are new to them, irrespective of whether they are new to their competitors, their country, or the world *[Mytelka, 2000]*.' From an educational point of view, we redefine this as: *'innovation is the process by which students master the complex links among science and the related social contexts, and implement a new design and a productive approach to tackle the challenges they face.'*

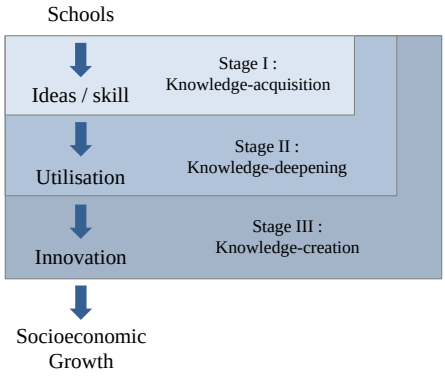


Fig. 4 – Progression of educational stages and their roles

In addition, in the course of such educational innovation we provide students with ICT tools such as digital sensors and interfaces in order to enhance their core ability, namely the observational skill that is essential to demonstrate creativity. Sensing is a very fundamental property that human beings possess as an innate capability along with the five senses. With that, we, consciously or unconsciously, measure phenomena and variations of nature, and thereafter execute decision making, preventing or minimising possible risks, and predicting future events that are likely to happen. Students are encouraged in their assigned work to make the most of their sensing capabilities to obtain physical information from nature. Technically, a digital sensor is defined as 'a device which detects or measures a physical property and provides important data enabling humans to read the state.' Humans have been inventing such devices in order to complement and/or diversify innate capabilities, which have limitations, especially over quantitative measurements, and to further

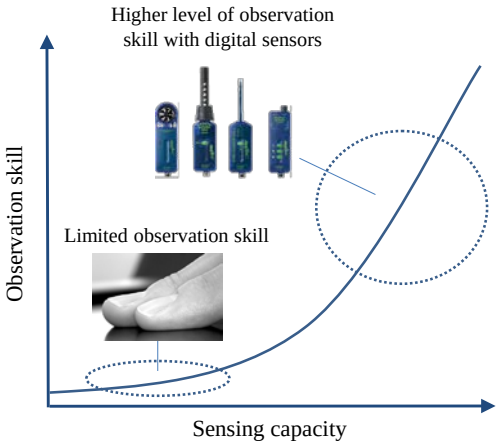


Fig. 5 – Conceptual sketch on expansion of student observation skill vs. sensing capability
(Top pic., courtesy of PASCO Scientific)

living standard in terms of technological and industrial development and output. We thus define the digital sensor in the educational context as *'a device which can foster and expand student capabilities to acquire and observe the conditions of nature that can be incorporated into a stream of problem-solving.'* This can be further endorsed by a developmental approach bringing contemporary scientific practice and technological tools into the classroom where student inquiry skills and conceptual understanding are promoted *[Srisawasdi et al, 2008]*.

4. Procedure and Implementation

The structural flow of the learning process we propose is shown as follows. Throughout the process one facilitator is given the responsibility to assist in student engagement in each phase, where they are to:

Phase 1) be provided with an assignment that includes local, global and social context with 21st Century Challenges as stated in Fig.3

Phase 2) obtain understanding and consciousness over the challenges through media and the internet

Phase 3) investigate complexity and influence caused by the challenges to our society and communities

Phase 4) create and develop a scenario and a procedure for science experiments

Phase 5) implement the procedure in order to confirm whether it is complete, and obtain results

In order to drive and activate the process smoothly we utilise a facilitation method (Fig.6), set up in an environment that enhances participation and knowledge-creation among students. They are also encouraged to generate, exhibit, propose and share their own ideas, and build a consensus among people who have different backgrounds, personalities and thoughts. Through this method, each student is expected to be a responsible player in the group. It is important that all the innovative and creative ideas generated within the group be treated in a respectful manner.

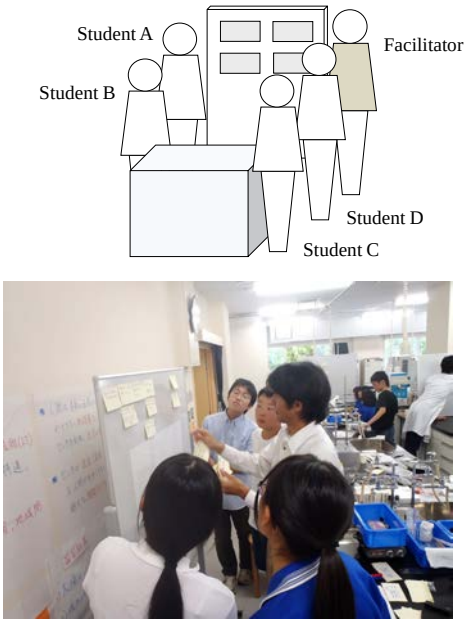


Fig. 6 – Facilitating discussion through visualisation of ideas that are combine to create own experiment

Furthermore, competency is applied to the entire learning process and more prioritised than the accuracy of the numerical results gained in the experiment, which is less important, as this does not provide us with insight into the hidden capabilities of the students. Broadly speaking, competency is considered as: *'The ability, not only to acquire knowledge and skills, but more importantly to understand the complexity and interaction among the contexts of society, economy, industry, environment and science; and to utilise and create knowledge to tackle challenges on top of these, that might affect the way our world, country and region exist.'* We have established the following set of four key elements that comprise competency.

1) Creativeness and innovativeness

Creating new ideas that can support and contribute to his/her team to overcome and solve issues

2) Collaboration and communication

Accepting and sharing ideas with the diversity that his/her team has generated, and actively engaging in discussion.

3) Information and media literacy

Perceiving the intention and meaning of information and data through media with critical and multiple points of view

4) Scientific approaches

Drawing scenarios and implementing procedures that are based on the preliminary knowledge and assumptions

From 2012 to the present, thanks to a funding from the Japan Science and Technology Agency and the Mutsu-Ogawara Financial Group of Industrial Development, we have been conducting one-day workshops, both for students and teachers, meant to implement this comprehensive approach and verify if there are advantages and disadvantages that might be occurring in actual classroom settings. There are numerous assignments that have been devised and tested in the workshops. Examples of assignment are shown below; all are carefully designed and elaborated to elicit student interest.

Assignment for students (eg.1) – Sensing property: temperature

[Knowledge web]

IPCC, Kyoto protocol, Population migration, Atmospheric temperature, Purity of substance, Change of state, Latent heat and Temperature of fusion

[Statement]

According to some research, due to the increase in atmospheric and ocean temperature, ice shelf and sheets are rapidly melting down into the ocean, and this is believed to be one of the causes that result in the rise in sea level.

It is a fundamental property and the physical nature of any substances that can melt at a certain temperature, called Temperature of Fusion. Your group is assigned to figure out the temperature of fusion of the substances that are provided to you as follows: Ice, Stearic acid, Lauric acid and Palmitic acid.

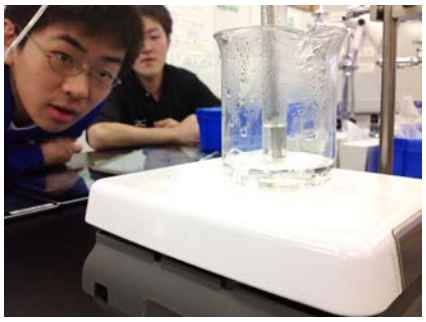


Fig. 7 – Measurement of latent heat of fusion and melting point

Design the lab work for this assignment. Compare graphs depicting the heat of fusion that are obtained in the experiment with the theoretical graphs exhibited in textbook. And explain how and why they are different.

Assignment for students (eg.2) – Sensing properties: pressure, humidity and temperature

[Knowledge web]

Draught, Food security, GM food, Water provision, Daily diet, Cloud formation, Atmospheric pressure, Relative humidity and Precipitation

[Statement]

In some regions, an irregularity in climate cycle causes a sever draught and shortage in food supply to their population. Furthermore, agricultural failure in such countries can lead to a variation in diet patterns in our own country due to a heavy dependence on imported foods.

Fig. 8 – Observation of pressure and temperature change in cloud formation

It is scientifically evident that the amount of water vapour in the atmosphere is responsible for creation of clouds and thus rain fall. Your group is assigned to first, research the process of cloud formation, and second, work out how the dry weather, irrigation and deforestation can make the process turned into a possible vicious cycle.

Design an experimental device using a 1L flask in which one can demonstrate cloud formation and measure the change in internal pressure and temperature as the cloud forms. Explain how nuclei affect the formation.

Assignment for students (eg.3) – Sensing properties: voltage and salinity

[Knowledge web]

Aral Sea, Salt damage, Agriculture, Irrigation, Underground water, Salinity, Ionisation tendency and Galvanic cell

[Statement]

Irrigation is a means to artificially divert natural water to man-made streams in order to assist agriculture. Doing so sometimes causes a decline in the amount of water in lakes, reservoirs or underground and consequently leads to an increase in salinity level. In the case of natural lakes, severe damage is expected not only to the ecosystem of the creatures living there, but also to the agriculture surrounding the lakes.

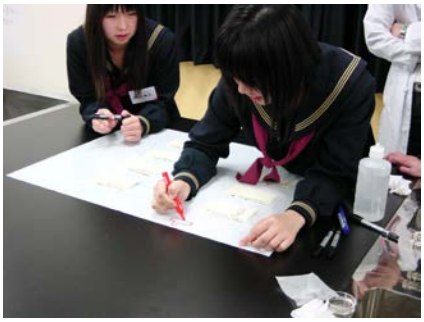


Fig. 9 – Writing the procedure for experiments that they have devised through discussion

The salinity of the water can be estimated with a simple galvanic cell using two different types of metal plates that exhibit a unique ionisation tendency. Your group is assigned to create a correlation graph between voltage and salinity so that anyone having the pair of metals and the graph can utilise them to estimate the salinity of unknown water.

Design a device that can output voltage in relation to a series of known salinity levels of water and draw the correlation graph. Exhibit the most effective pair of metals that can generate maximum voltage.

Assignment for students (eg.4) – Sensing properties: pH and light absorbance

[Knowledge web]

Industrialisation, Fossil Fuel, Exhaust gas, Oxides (NOx and SOx), Acid rain, pH, Acidity and Photochemical smog and Transboundary pollution

[Statement]

Burning fossil fuel causes oxides such as Nitrate oxide and Sulphate oxide, which are considered to be key elements causing acid rain and photochemical smog. There is a set of environmental controls and regulations imposed by the government that have resulted in reduction in the amount of emission in recent years.

However, some countries developing rapidly might be less aware of such emission and tend to be behind in environmental protection. This may cause a transboundary flow of oxides and other pollutants by air to our country. Your group is assigned to make a proposal for a solution, endorsed by evidence that you have obtained.

Fig. 10 – Measurement of absorbance of solution treated with a chemical regent

Design a procedure for measuring the acidity of rain and the concentration of Nitrate oxide in the air. Note that due to the concentration of CO_2 (400pm), the usual atmosphere transforms rain to be slightly acidic (pH 5.8). Study the chemical reaction of the oxides and water using the concept of the ion. Explain how higher acidity and concentration of Nitrate oxide cause a threat to our lives and the environment.

Assignment for students (eg.5) – Sensing properties: CO_2, light intensity, humidity and temperature

[Knowledge web]

Deforestation, Plant growth, Respiration, Photosynthesis, Atmospheric temperature, Humidity, Light intensity and Light saturation point,

[Statement]

All living creatures on the earth respire, exhaling higher concentrations of CO_2 than they inhale. On the other hand, plants have the additional ability to exhale O_2 through photosynthesis while absorbing CO_2. Balancing the amount of the released and absorbed CO_2 creates an atmosphere where the concentration remains almost constant.

In the course of industrial development and exploitation of natural resources including fossil fuel, the amount of CO_2 being released becomes excessive so that it cannot be compensated for by nature's current ability to absorb. Your group is assigned to investigate factors that affect the ability of plants to photosynthesise.

Fig. 11 – Discussion and decision making for experiment set-up through visualisation of ideas

Design a system that can adjust the intensity of light that is used for this measurement, and figure out a rate of photosynthesis and the light saturation point. Explain how humidity, temperature and light colour might also affect the rate of photosynthesis.

5. Findings & Analysis

Producing the value-added results through experiment was set to be foremost and students were expected to not only acquire and apply the existing ideas but also create a procedure with new and innovative solutions that were generated through group work using their set of competencies. We conducted a pre-questionnaire that was meant to abstractly reveal the distribution of each competency on the basis of their self-assessment (Table 1). From the results of the pre-questionnaire, it was observed that

students thought that they were capable of utilising: 'interconnection' 'communication' and 'prediction' (#2, #9 and #10). On the other hand, they were less capable of employing: 'knowledge-creation' 'persuasion' and 'clarification through questioning' (#1, #3 and #6).

Although this was only a self-assessment, not taking into account the students' psychological and linguistic consciousness, this at least disclosed that in school they have been provided with few occasions where they could have taken ownership in generating ideas, voicing opinions and negotiating with others (stakeholders) using logical and explicit explanation. By visualising their ideas on cards in a written format, it was observed and confirmed that it fostered further discussion and participation. Furthermore, they seemed to be more respectful of peer ideas and understand them better due to the written form. It was also possible for them to articulate their thoughts and ideas better to one another through the cards.

Table 1 – Self-assessment on competency, conducted at the beginning of each workshops (N=91 students)

No	Self-assessment items	Yes	Don't	No
1.	I am able to generate and create new ideas in the school laboratory.	41 %	12 %	47 %
2.	Any small scale problem around us is interrelated to global scale problems.	93 %	1 %	6 %
3.	I am able to explain my own ideas to other people and make them understand.	30 %	21 %	49 %
4.	I am able to communicate effectively with other people and exchange ideas.	62 %	13 %	25 %
5.	I am able to collaborate with other people to tackle challenges.	86 %	3 %	11 %
6.	I am able to ask questions to teachers to clarify ambiguities I have.	38 %	19 %	44 %
7.	I am able to draw and construct my own ideas from the information obtained through media.	76 %	3 %	21 %
8.	Information from the media sometimes involve privacy, moral and biasness other people have.	81 %	4 %	15 %
9.	I am able to make an assumption or prediction about what sort of results I might obtain.	88 %	4 %	7 %
10.	Many types of experiments are necessary to promote the understanding of nature.	88 %	2 %	9 %

Classification #1-2 : Creativity / #3-4 : Communication / #5-6 : Collaboration / #7-8 : Media literacy / #9-10 : Scientific approach

The facilitation method was introduced, as it was considered to work effectively in order to address weaknesses. In the workshops, one facilitator (undergraduate student) was assigned to each lab group where 3-5 junior high school or high school students were teamed up, and provided with the assignment in the form of statement. In most cases, in the traditional classes students are given a lab manual that clearly shows a step-by-step procedure of what they are supposed to do. Thus there is only a little flexibility for them to bring in their own ideas, and all the groups are expected to achieve the same result. The proposed learning concept we designed and implemented was confirmed to have created an atmosphere where students were not just passive receptors of such pre-determined information, but active generators of ideas that could construct and create their own procedures.

A post-questionnaire was completed by each student at the end of the workshops (Table 2 and 3). This was meant to reveal student preference to the proposed process. This enabled us to know whether the teaching and learning at the workshops was adequately understandable (8 %, 'Strongly agree' and 69 %, 'Agree,' totalling 77 % of students in favour), and topics and assignment treated were considered to have fostered interest and learning (15 % 'Strongly agree' and 62 % 'Agree,' totalling 77 % of students in favour). And perhaps more importantly, students were able to conceive the challenges in our local and global society in conjunction with science and others related topics, as well as the role and responsibility of science.

As stated in the preamble of the Japanese science curriculum, through lessons students should build interest in nature and physical phenomena and conduct observation and experiment with a sense of clear purpose that can raise their ability and attitude toward scientific investigation, including setting assumptions *[Ministry of Education, 2008]*. Participating students responded that that they became more

confident in conducting experiments as they could learn how to set up and implement experiments and obtain results, based on scientific observation and reasoning from their own approaches.

Table 2 – Post-questionnaire, conducted at the end of each workshops (N=91 students)

No	Post-questionnaire items	Strongly	agree	Cannot	disagree	Strongly
1.	Today's activities have been interesting and enjoyable.	38 %	54 %	8 %	0 %	0 %
2.	Today's activities have been understandable.	8 %	69 %	15 %	8 %	0 %
3.	I was interested in science & technology before the activities.	15 %	77 %	8 %	0 %	0 %
4.	Today's activities have fostered my interest further.	15 %	62 %	15 %	8 %	0 %
5.	I have been able to think about what challenges humans have in the 21st century.	46 %	23 %	31 %	0 %	0 %
6.	I have been able to think about how science & technology can play a role in our society.	31 %	38 %	23 %	8 %	0 %
7.	I want to have the same group work using visualisation in lessons in my school.	15 %	69 %	15 %	0 %	0 %
8.	I want to use ICT tools in the other lessons in my school.	38 %	46 %	15 %	0 %	0 %

Table 3 – Some student comments obtained in Post-questionnaires

- ✓ Although it is rare to have water shortages in Japan, from the activity I have seen the importance of the water cycle and how it is sensitive to human activities.
- ✓ I have understood that environment issues need to be discussed broadly with neighbouring countries especially when cross-border pollution is among our concerns.
- ✓ I have been able to gain knowledge not only about pure science but also about how global issues are interrelated within our society.
- ✓ Experiments, visual media and resources used in the activity were very interesting and something new to me, which have not been used in school laboratories before.
- ✓ I have seen from the activity that human progress is made not only by creating something new but can be done by improving the way we use our limited resources.
- ✓ I was convinced and became confident through experiments conducted in a way that always included scientific reasoning in the group work.

Table. 4 – Number of participants and their classification

Number of participants	Junior High School			Senior High School			
	1st year	2nd year	3rd year	1st year	2nd year	3rd year	Total
Male students	14	4	27	5	7	0	57
Female students	0	3	12	15	3	1	34
	14	7	39	20	10	1	91

Workshop Dates : 23rd Sep 2012 / 3rd Nov 2012 /16th Dec 2012 / 13th Jan 2013 / 2nd Feb 2013

Cross-discipline pedagogy was proposed in association with major school subjects, namely science, technology, mathematics, social studies and others. As society gets progressively advanced, the amount of content in subjects will also expand, making some of the topics overlap, particularly the 21st Century Challenges, including environment, health, social and global perspectives. As indicated above, providing the knowledge web among the subjects for such challenges made it possible for students to

become more responsible players in dealing with and tackling problems around them. It was confirmed during the workshops that from the media coverage showing the 21st Century Challenges, students were able to perceive the context and conduct a simple systematic analysis of the contents from natural phenomena to consequences of our lives, and to realise the necessary action that citizens are supposed to take. This indeed led students to attempt the subsequent series of processes successfully.

As a whole, it could be concluded that students were able to utilise the knowledge obtained to create new and innovative ideas that related to a practical situation in our society. However improvement in achieving a higher level of student understanding and using this facilitation method in regular school settings, where basically only one teacher is available for 35-40 students, is set as our future work. Also, the measurement of student capability and competency in the fields of creativity, innovation, collaboration, communication, media literacy and scientific approach has to be conducted in a more rigorous yet flexible way. We think that a conceptual measurement using a rubric assessment sheet could be one of possibilities and thus intend to conduct design and a development with teachers.

6. Summary and Recommendation

In this paper, we introduced the learning process to provide students with self-motivation among peers with a facilitator who could assist them in generating ideas and innovative solutions to tackle various challenges of the 21st century. These challenges were selected and established based on careful observation of student interest in current global issues that might affect their local lifestyle and socioeconomic status, including the concept of productivity and the quality of science and mathematics education. A combination of the 21st Century Challenges and the facilitation method, together with the sensing technologies for increasing student observation skill, was proven to have had a positive effect on student participation and willingness toward learning as active generators of ideas. It can be said that student weakness at expressing and asserting their own thought explicitly to others needs to be improved.

The Ministry of Education, Japan, set out a declaration, listing the key qualities that school teachers must possess. This included a sense of responsibility, devotion, understanding and culture. They also included an additional quality required in society today, that is: the ability to take an action based on global perspective in our society that needs to accommodate and adapt to the potential change in the way we live. In order to contribute to this goal, a further study is required among educators on the best possible way to incorporate our proposed approaches into the science curriculum and/or the Integral Study (Sougou-teki Gakushu) in secondary education.

Acknowledgement

This research project was supported by the Japan Science and Technology Agency in 2012, and is being supported by the Mutsu-Ogawara Financial Group of Industrial Development and Japan Association of Educational University in 2013. The authors express our appreciation to Prof. Shari J. Berman of the International Education Centre, Hirosaki University, for conducting a grammatical proofreading of this paper.

References

FASiD. (2007). *Project Cycle Management for Development Assistance*. Foundation for Advanced Studies on International Development.

Fisher A Matthew. (2012). *Chemistry and the Challenge of Sustainability*. Journal of Chemical Education.

Greenhalgh Christine, Rogers Mark. (2010). *Innovation, Intellectual Property and Economic Growth*. Princeton University Press.

IPCC. (2007). *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change*. The Intergovernmental Panel on Climate Change .

Ministry of Education. (2008). *Science Curriculum (Junior High School)*. Ministry of Education, Japan.

Mytelka K Lynn. (2000). *Local Systems of Innovation in a Globalised World Economy*. Industry and Innovation 7 (1).

OECD. (2005). *Definition and Selection of Key Competencies - Executive Summary*. OECD Publishing.

OECD. (2012). *Education at a Glance 2012*: OECD Indicators. OECD Publishing.

OECD. (2013). *Factbook 2013 - Economic, Environmental and Social Statistics*. OECD Publishing.

Sapianchai Pote, James TJ Paul. (2005). *ICT in Thai Education Ideological and Structural Determinants that Support its Development, Introduction and Use*. Bangkok University Knowledge Centre.

Srisawasdi Niwat, Kerdcharoen Teerakiat, Suits P Jerry. (2008). *Turning Scientific Laboratory Research into Innovative Instructional Material for Science Education: Case Studies from Practical Experience*, Vol 15. International Journal of Learning.

Statistic Bureau. (2013). *Labour Force Survey (Basic Aggregate)*. Ministry of Internal Affairs, Japan.

Wiggins Grant, McTighe Jay. (2007). *Understanding by Design, 2nd ed*. Association for Supervision and Curriculum Development.

World Bank. (2007). *Building Knowledge Economies - Advanced Strategies for Development*. The World Bank.

World Economic Forum. (2012). *The Global Competitiveness Report 2012-2013*. World Economic Forum.

ICER2013

HIROSAKI UNIVERSITY

The Role of Education in Societies Seeking Knowledge Creation

- Development of Pedagogy for Secondary School Science Enhanced by 21st Century Challenges

Masanori Homma, Toru Shimada and Yukiyasu Chounan

Faculty of Education, Hirosaki University, Japan

1. Objective

" To create an environment where students are able to conduct knowledge and value-creation, and acquire key-competency associated with 21st century challenges. "

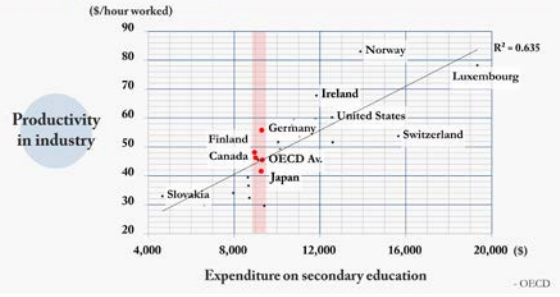
↓

To increase productivity, in a response to aging society and decreasing population

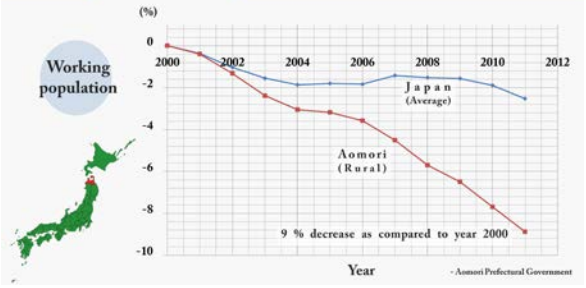
↓

Sustainable socioeconomic growth

2. Background



2. Background



2. Background

Productive Activity :

Generate and create added-value from knowledge obtained

↓

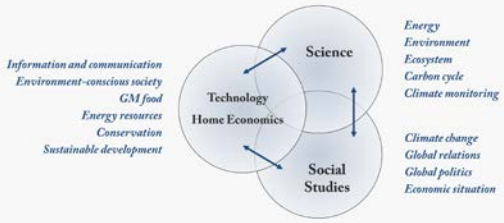
Innovation feeds a profit to every society, organisation and firm

↓

" Can we incorporate the value-creation process into our education ? "

2. Background

Recent expansion of subject (discipline) area



3. Design

21st Century Challenges for interconnecting disciplines

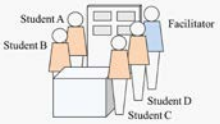
- ✓ Climate change
- ✓ Food provision
- ✓ Water provision
- ✓ Draught / Irrigation
- ✓ Acid rain
- ✓ Photochemical smog
- ✓ Renewable energy
- ✓ Deforestation
- ✓ Waste management
- ✓ Biological conservation
- ✓ Population migration
- ✓ Information technology

Cross-Discipline

Science
Technology
Social Studies
Home Economics
(Mathematics)

3. Design

Facilitation for generating and visualising ideas



- ✓ Elicit new ideas from all students
- ✓ Discuss and elaborate the ideas
- ✓ Come up with a unique solution

4. Practice

Context-led Challenge (example):

Irrigation is a means to artificially divert natural water to man-made streams in order to assist agriculture. Doing so sometimes causes a decline in the amount of water in lakes, reservoirs or underground and consequently leads to an increase in salinity level. In the case of natural lakes, severe damage is expected not only to the ecosystem of the creatures living there, but also to the agriculture surrounding the lakes.

Social and environmental context

4. Practice

The salinity of the water can be estimated with a simple galvanic cell using two different types of metal plates that exhibit a unique ionisation tendency. Your group is assigned to create a correlation graph between voltage and salinity so that anyone having the pair of metals and the graph can utilise them to estimate the salinity of unknown water.

Design a device that can output voltage in relation to a series of known salinity levels of water and draw the correlation graph. Exhibit the most effective pair of metals that can generate maximum voltage.

Scientific context

4. Practice

Constructing Knowledge Web

4. Practice

step 1. Obtain understanding and consciousness over the challenges through media and the internet

step 2. Investigate complexity and influence caused by the challenges to our society and communities

4. Practice

step 3. Create and develop a unique procedure for science experiments

step 4. Implement the procedure in order to confirm whether it is complete, and obtain results

5. Evaluation

Student distribution

	Junior High School			Senior High School			
	1st year	2nd year	3rd year	1st year	2nd year	3rd year	Total
Male students	14	4	27	5	7	0	57
Female students	0	3	12	15	3	1	34
	14	7	39	20	10	1	91

Workshop Dates : 23rd Sep 2012 / 3rd Nov 2012 /16th Dec 2012 / 13th Jan 2013 / 2nd Feb 2013

5. Evaluation

Self-assessment on student competency

No	Self-assessment items	Yes	Don't Know	No
1.	I am able to generate and create new ideas in the school laboratory.	41%	12%	47%
2.	Any small scale problem around us is interrelated to global scale problems.	93%	1%	6%
3.	I am able to explain my own ideas to other people and make them understand .	30%	21%	49%
4.	I am able to communicate effectively with other people and exchange ideas.	62%	13%	25%
5.	I am able to collaborate with other people to tackle challenges.	86%	3%	11%
6.	I am able to ask questions to teachers to clarify ambiguities I have.	38%	19%	44%
7.	I am able to draw and construct my own ideas from the information obtained through media.	76%	3%	21%
8.	Information from the media sometimes involve privacy, moral and biasness other people have.	81%	4%	15%
9.	I am able to make an assumption or prediction about what sort of results I might obtain.	88%	4%	7%
10.	Many types of experiments are necessary to promote the understanding of nature.	88%	2%	9%

Classification #1-2 : Creativity / #3-4 : Communication / #5-6 : Collaboration / #7-8 : Media literacy / #9-10 : Scientific approach

5. Evaluation

Post-questionnaire on student attitude

No	Post-questionnaire items	Strongly Agree	Agree	Cannot Rate	Disagree
1.	Today's activities have been interesting and enjoyable.	38%	54%	8%	0%
2.	Today's activities have been understandable.	8%	69%	15%	8%
3.	I was interested in science & technology before the activities.	15%	77%	8%	0%
4.	Today's activities have fostered my interest further.	15%	62%	15%	8%
5.	I have been able to think about what challenges humans have in the 21st century.	46%	23%	31%	0%
6.	I have been able to think about how science & tech can play a role in our society.	31%	38%	23%	8%
7.	I want to have the same group work using cards(visualisation) in my school.	15%	69%	15%	0%
8.	I want to use ICT tools in the other lessons in my school.	38%	46%	15%	0%

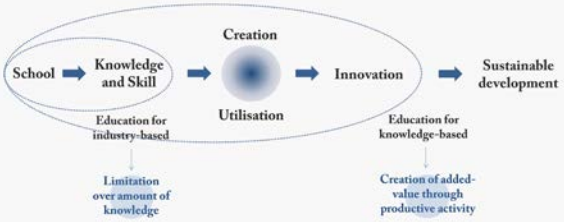
5. Evaluation

Student comments

- ✓ I have been able to gain knowledge not only about pure science but also about how global issues are interrelated within our society.
- ✓ Making a prediction through discussion was the most enjoyable part for me in the lesson.
- ✓ I was convinced and became confident through experiments conducted in a way that always included scientific reasoning in the group work.
- ✓ I have seen from the activity that human progress is made not only by creating something new but can be done by improving the way we use our limited resources.

6. Summary

Education for knowledge and value-creation



6. Summary

- ✓ Have developed and proposed the value-creation process in the school education, where students were encouraged to act like the active generator of ideas rather than the passive receptor of knowledge.
- ✓ In that process, introduced the facilitation and visualisation technique that were intended to enhance student participation.
- ✓ By creating the knowledge web before starting the experimentation, it was obvious from the response that students could understand the role of science and technology in our society.
- ✓ As a whole science education needs social perspectives built into its curriculum because vast majority of students are already exposed to social context through the media-rich world.

Acknowledgement :

The implementation of the series of workshops have been financially supported by following organisations.

Year 2012

Science and Technology Agency, Tokyo, Japan

Year 2013

Mutsu-Ogawara Financial Group of Industrial Development, Aomori, Japan

Association of Universities of Education, Tokyo, Japan

HIROSAKI UNIVERSITY

- Development of Pedagogy for Secondary School Science Enhanced by 21st Century Challenges

ICER Presentation Transcript

Opening

1) Good afternoon everyone. My name is Masanori Homma. I'm a graduate student at Hirosaki University, Japan. This research has been conducted under supervision of professor Chounan and Shimada at Faculty of Education. And I would like to present a brief introduction to what we think our society is seeking in terms of its development and the role of education. Lifelong education is a vast area of study and thus I would like to take science education as an example to this ICER presentation.

1. Objective

2) The main point of this study is to try to answer questions that are, what the education, especially science education, can play a role in societies, and how we can advance the education, in response to the decreasing working population and the aging society that have just begun in many of leading economies.

3) We are aiming to do this through knowledge and value-creation activities that are meant to increase people's productivity and key-competency suggested by OECD. Needless to say, better productivity leads the societies to sustainable development, even if they are experiencing the underpopulation of workforces.

2. Background

4) First of all, let's look at this figure – the correlation between productivity and expenditure on education. Both data come from Factbook published by OECD, and we have combined the two sets of data to see if there is a correlation. We have done this because we wanted to connect education to the productive sector – therefore we see that education as an input and productive sector as an output.

5) It is clear that, at the same amount of expenditure on education, some countries are enjoying better productivity, the countries like Germany, Finland and Canada. The productivity of Japan is even below the average line. Are we able to increase this productivity, by setting an environment in school where students can practice knowledge and value-creation?

6) Next figure is this – the change in working population. This is an accumulated decrease in percentage. Overall, Japan is experiencing a gradual decrease in working population, around minus 2 % level as compared to year 2000. However, due to the internal migration to metropolitan cities, rural areas are experiencing a huge drop in their working population, especially young population, I should say.

7) This is just like what is happening within European Union where migration from the east to the west in search of job is noticeable.

8) With this decreasing population, at least in some areas of the country needs better productivity in

order to sustain their living standard, competitiveness and their industrial output. We want incorporate the productive activity into our educational system so that students will surely be beneficial to local society and economy.

9) As we pointed out earlier, utilisation of knowledge and creation of value in our classroom is the focal point of this study, we shall come back to this later, to discuss how we can approach.

10) In the last decades, we have seen expansion of teaching area within each subject. This is true that current affairs have come into play a bigger role than ever before, such as sustainable energy, resources, environment, climate, biodiversity, waste management, and even the information and communication technologies, global relations and social situation.

11) This makes the subject area larger and essentially some of the newly treated topics could have been overlapped. We would say that it is now possible for individual students to endeavour and cut across different areas, especially I would say, science, technology, home economics and social studies. I want to provide such students with cross-discipline topics to challenge. That is the 21st Century Challenges.

3. Design

12) As you can see, in our approach the challenges or we can say the big ideas come first, and the traditional subjects become minor sections that support each challenge. The advantage would be that these topics are ones that are familiar to current students who are exposed to media and information-rich environment.

13) I believe that science experiment is one of activities where students are expected to have ownership as well as leadership in conducting the experiment successfully. In addition to that this involves group discussion, development of ideas, decision-making, above all, these are necessary steps for value-creation in productive activity in real life. We introduced facilitation in our lesson where students are expected to be an active generator of ideas but not a passive receptor of existing ideas and information.

4. Practice

14) Let's move onto practice. I would like to present here one example of 21st Century Challenges that is context-led both socially and scientifically.

15) "Irrigation is a means to artificially divert natural water to man-made streams in order to assist agriculture. Doing so sometimes causes a decline in the amount of water in lakes, reservoirs or underground, and consequently leads to an increase in salinity level. In the case of natural lakes, severe damage is expected not only to the ecosystem of the creatures living there, but also to the agriculture surrounding the lakes." – This is social and local context that have not been taught in science class but rather treated in social studies and home economics or agriculture. I shall connect this to scientific context as follows.

16) “The salinity of the water can be estimated with a simple galvanic cell using two different types of metal plate that exhibit a unique ionisation tendency. Your group is assigned to create a correlation graph between voltage and salinity so that anyone having the pair of metals and the graph can utilise them to estimate the salinity of unknown water” – I think that now the social context and the scientific context have been jointed together. This provides students with their own knowledge web that interconnects all other discrete knowledge in separate subject areas.

17) Clearly we can see that science is just a small part of this knowledge web, but play an important part to understand the overall concept. It is good for students, who may not be science-literate, to have a big vision over what constitutes the science in relation to others. It is our concern that the traditional classroom has put much concentration on dealing with pure science topics, not knowing the rest of the knowledge greatly affect the science. As an example, the “ionisation tendency” may be an interesting topic for scientists or researchers but not the case for general public, let alone students.

18) I believe that people’s interest is oriented by purpose and profit for their society. That is, where the science can be utilised and how it is good to sustain their living.

19) Let’s look at the proposed process shall we.

20) Step1, students are to obtain understanding and consciousness over the challenge through media and internet. It is good idea to give students access to broadcast, news programme, documentary and even articles from newspaper and magazine that have various points of view toward the challenges. National Geographic Channel provides broad range of programme that is suitable for this step.

21) Step2, students are to investigate an influence caused by the challenge to their society. In the case of irrigation, this may result in shortage of water amount and increase in salinity level, affecting aquaculture as well as agriculture, therefore food provision. We use a facilitator who can promote the discussion in each group where students visualise facts obtained through media in order to analyse the context behind the challenge. This may be from phenomenon to consequences and to action we need to take.

22) Step3, students are to create their own procedure or scenario for an experiment. Traditionally they are just given a lab manual that shows step-by-step procedure on what they need to do. But in this step we provide them with a sufficient time to create “a procedure” with “added-value” that is new to them and become beneficial to their learning. This may involve assumption, implementation, observation and reasoning skills.

23) Step4, students are to implement the experiment according to their own procedure, and to confirm whether it is complete, and where necessary improve upon it. As you might have notice that this PDCA (plan, do, check, adjust) process is vital in real life and work in industries which pursue value all the time. Students can be effectively trained by using the science experiment as a way of value-creation.

5. Evaluation

24) Let's move onto evaluation. We have been conducting workshops in order to verify the proposed lesson style comprising of context-led learning and the value creation. Distribution of students attended in the last year's workshops is shown here. There were 57 male students and 34 female students in total. About 16 to 20 students who came from either junior or senior high school attended in each workshop.

25) Before the workshop started, we asked students for taking a self-assessment on their competency, using very simple sentences so that even junior high school students could understand. From this self-assessment, we knew that students were less capable of #1 knowledge and value-creation, #3 explanation and persuasion to others, and #6 clarification through effective questioning. We realised that students have not been provided with an environment where they are made engaged and encouraged to generating ideas, voicing opinions and negotiating with peers. All of which are to be addressed by the effective facilitation and visualisation of ideas.

26) Indeed, through our observation in the workshop, we have confirmed that the facilitation and the visualisation made it possible for students to actively generating ideas, at least not hesitating to voicing opinions in front of peers. And they were able to develop their own procedure for the experiment, not just a passive receptor of given information and knowledge.

27) From the post-questionnaire we confirmed that 77 per cent of students thought that the lesson was understandable. And more than 84 per cent of students hoped they want to have the group work using the visualisation method in their school. Above all, about 70 % of students answered that they were able to think how science and technology play a role in our society. Therefore, we confirm that the proposed method encouraged and promoted students learning.

28) I would like to show some of the student comments that could endorse the positive outcome. But because of the time left, you may want to read this on hand-out later after this session.

6. Summary

29) Now let me summarise my presentation. In the past decades of education provided students with intense acquisition of knowledge and skill for industry-based society. In the society like Japan especially its rural cities where population has started to rapidly decline, they are unable to sustain their competitiveness, due to a limitation over amount of knowledge per head, in other word, people have a limited capacity that knowledge and skill are fed into them.

30) I would like the education go further, to cover the process of utilisation, creation and innovation that have used to be left to industries. Education can play a role to provide students with an environment where they can practice value-creation with productive manner. I think this should contribute to increase the productivity of the societies that are stuck in economic downturn with run-down industries.

31) Here are the outcome and achievement of this study. First, we have developed and proposed the

value creation process in the school education, where students are encouraged to act like active generator of ideas rather than the passive receptor of knowledge from textbook or lab manuals.

32) Second, in that process we introduced facilitation and visualisation technique that were intended to enhance student participation. And according to the response from the students and observation through workshops, we confirm that the technique could solve the problem with current classroom that is teacher-centred and that needs to be turned to student-centred.

33) Third, creating the knowledge web before starting the experimentation, it was obvious from the response that they could understand the role of science and technology in our society in connection with other subject matters. This provided students with a clue as to deal with 21st century challenges they were tackling.

34) Last, perhaps this is rather recommendation, but I would like to say that science education needs social perspectives built into its curriculum. Because vast majority of students already are already exposed to social context through this media-rich world where their interest really fit into it. And thus the cross-discipline approach does make a sense; engage students in their social matters, give them a challenge they can tackle, let them devise a procedure they can verify and get a feedback into their understanding.

Ending

35) I acknowledge and appreciate that the research programme has been supported by the organisations as written here.

36) Thank you for listening to my presentation. And I am happy to answer questions you may have.

日本理科教育学会全国大会（第 63 回）

研究要旨，プレゼンテーション資料

21 世紀の課題を用いた科学ｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝの推進と学習展開の開発

― 知識創造社会における教育の役割の視点から ―

○本間正範[A]，島田透[B]，長南幸安[B]
HOMMA Masanori, SHIMADA Toru, CHOUNAN Yukiyasu
弘前大学大学院 教育学研究科[A]，弘前大学 教育学部[B]
【キーワード】21 世紀の課題，科学コミュニケーション，生産性，総合的な学習，知識創造

1 目 的

OECD では，世界各国の生産性*(productivity)*を，単位労働時間あたりに生み出される富としてその指標を公開し，我々はそこから日本の労働人口に内在する生産性の低さを読み取ることができる。本研究の主要な目的としては，21 世紀の課題の活用により，教育と「社会，経済，産業」との結びつきがもたらされること，また各専科の有機的な融合により，学習者の意欲関心を引き出すことを掲げている。これにより，科学技術の領域に限らず，より広義な 意味で，地域社会の「科学的労働者」の育成とその生産性の向上，そしてイノベーションの創出に寄与することを目的に据えている。

2 方 法

（1）学習の展開

本研究にて提起する学習の展開は次の通り。

1) *２１世紀の課題を用いた文脈の提示*
2) *メディアを通した課題の認識とその意識化*
3) *課題の複雑性と国際/地域社会への影響の調査*
4) *関連する実験テーマの選定とシナリオの作成*
5) *シナリオに沿った実験の実施，結果と文脈の同期*

学習者の参加と知識創造と促すために，開発教育の分野で活用されているファシリテート手法を用い，「多様な背景を持つ受益者間，異なる年齢間において，自身の見方・考え方を論理的に主張する」ための環境を設定した。また，1)の文脈提示における 21 世紀の課題は，水資源，越境汚染，エネルギー供給，食糧供給，干ばつ，気候変動，といったテーマを選定した。

（2）キーコンピテンシーの導入

社会，経済，産業，食糧，環境等さまざまな文脈の中で，相互依存性を理解し，課題に対応するための能力を「キーコンピテンシー」と して上記学習の展開に適用した。

1) *メディア・情報リテラシー*
2) *協働性・コミュニケーションスキル*
3) *創造性・イノベーションスキル*
4) *科学的アプローチ*

3 結 果

立案された学習の展開をもとに，弘前市およびその近隣市の中高生向けに，科学コミュニケーション活動を実施し，その効果を確認した。

表 1：実地検証（弘前市，黒石市，五所川原市より延べ 91 名）

実施日	21 世紀の課題
12/9/23	地球の環境温度の変化と氷の融解の関係
	温室効果ガスの増加により地球気温が上昇することを明らかにするための実験を考え，それを実行する。
12/11/3	気候変動や灌がいの水サイクルに及ぼす影響
	気圧/温度の関係，また塩分濃度/電極電圧の関係を明らかにするための実験を考え，それを実行する。
12/12/16	化石燃料の消費と光化学スモッグと酸性雨
	大気中や自動車の排気ガス中の窒素酸化物の濃度を測定するための実験を考え，それを実行する。
13/1/13	同上
13/2/2	再生可能エネルギーの特性とその利用
	太陽電池の出力電圧の特性（角度，照度，面積などの影響）を調べる実験を考え，それを実行する。

事後アンケートの結果，「社会の中で，科学が果たす役割を自分なりに考えることができた」と回答した生徒は参加者 91 名中 82 名。また，「自然や科学・技術に対する興味が更に高まった」と回答した生徒は参加者 91 名中 76 名となった。

4 まとめ

結果に寄与した取り組みとして推測されるファシリテート手法では，学習者のアイデアをカードに書き出し共有することにより，コミュニケーションの促進と知識創造につながったと言える。今年度は青森県の各教育地区において，総合的な学習や人材育成を念頭に，本企画の普及・改善活動を実施している。

参考文献

OECD,「FACTBOOK 2013 – Economic, Environmental & Social Statistics」

附記

本研究は下記法人より事業支援を受けている。
独法）科学技術振興機構（H24 年度）
公財）むつ小川原地域・産業振興財団（H25 年度）

弘前大学大学院 教育学研究科

21世紀の課題を用いた

科学コミュニケーションの推進とその学習展開の開発

～ 知識創造社会における教育の役割の視点から ～

The Role of Education in Societies Seeking Knowledge & Value-Creation

弘前大学大学院 教育学研究科
○ 本間 正範

弘前大学 教育学部
島田 透 / 長南 幸宏

1．目　的

「青森県内の中学生・高校生が、21世紀のグローバルな課題を意識した形で、キー・コンピテンシーを養うための科学コミュニケーション活動を行えるようになること」

↓

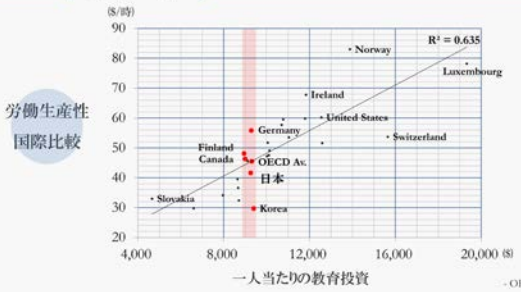
少子高齢化への対応 ・ 労働生産性の向上

↓

持続的な社会・経済発展

2．背　景

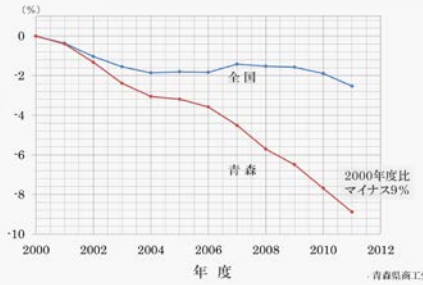
労働生産性 国際比較



OECD

2．背　景

労働人口 過去10年の推移



青森県商工労働部

2．背　景

生産活動 ： Productive Activity

得られた知識から、付加価値を生み出すための創造的活動

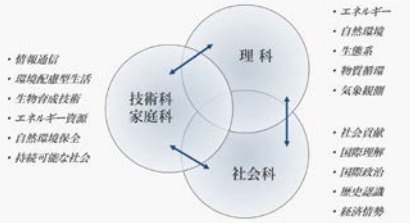
↓

あらゆる 地域・社会・組織・企業にとって、新たな富をもたらす

$$\text{生産性(productivity)} = \frac{\text{GDPアウトプット}}{\text{単位労働時間}}$$

3．設　計

科目横断 ： Cross-Discipline



3．設　計

21世紀の課題 ： 21st Century Challenges

- ✓ 気候変動
- ✓ 食糧供給
- ✓ 水資源
- ✓ 干ばつ / 灌漑
- ✓ 酸性雨
- ✓ 光化学スモッグ
- ✓ 再生可能エネルギー
- ✓ 森林面積減少
- ✓ 廃棄物処理
- ✓ 生物資源
- ✓ 人口増加
- ✓ 情報通信技術

科目横断 - Cross-Discipline

科学　社会
技術　家政
数学

科学的労働者
Science-literate workforces

4．実　践

文脈と課題提示(ミッション) ：

内海などの湖周辺の大規模な灌漑(かんがい)によって、水量が減少することで、その水の塩分濃度は上昇し、ついには生物の住めない環境になる場合があります。また、状況によっては周辺の農地に塩害をもたらし、食物生産にも影響が出ることが指摘されています。

このような水の塩分濃度は、イオン化傾向の異なる2つの電極を用い、その電極間に発生する電位差から推測することができます。塩分濃度と電圧の関係を調査する実験を考え、それを実行しましょう。

4．実　践

ナレッジ・ウェブ ： Knowledge Web

4．実　践

① メディア素材を利用し、課題の認識と意識化を図る

② 課題の複雑性と相互作用性を理解し、地域社会や産業への影響を知る

4．実　践

③ 課題に関連した実験テーマを確認し、結果を導くためのシナリオを作る

④ シナリオに沿って実験を進め、得られた結果を解釈・活用する

5．評　価

24年度　参加実績

▼ 参加校
- ○ 弘前市立 第三中学校
- ○ 弘前市立 第四中学校
- ○ 弘前市立 第五中学校
- ○ 黒石市立 黒石中学校
- ○ 五所川原市立 第三中学校
- ○ 私立 聖愛高等学校
- ○ 国立 弘前大学附属中学校

▼ 延べ参加人数（全5回）

	中学生			高校生			
	1年	2年	3年	1年	2年	3年	計
男子生徒	12	10	23	5	7	0	57
女子生徒	0	3	12	15	3	1	34

合計 91名

5．評　価

① 事前調査で「自分の考えを他人に伝え、理解させることができる」と回答した生徒が全体の30%と少なく、協働作業が不得意と思われたものの、カードを用いて自分のアイデアを書き出していくことで、グループ内でのディスカッションを進めやすくなった。また、「実験手順を予想して話し合ったりしたことが一番印象に残りました。」とあるように、生徒にとって、概ね受け入れられるレベルであったと予想できる。

② 参加した生徒全体の66%が「自然や科学・技術に対する興味が更に高まった」とし、「興味を少し持った」という回答も合わせると参加者の大多数が肯定的であった。また、「しっかりとした科学的根拠を用いて実験の結果を得ることができて自分でもすごく納得がいったし自信にもなった」という感想を受けた。

5．評　価

③「調べ方が楽になり、より多くのことを調べられるということはその分いろんなことを視野に入れて、より自分の問題、身近な問題として考えていかなくてはならないと思いました。」と感想があるように、学習を進める上で、メディア・インターネットの活用を建設的に捉える生徒もいた。

④「私も科学をもっと勉強し、物質の性質や働きをよく知って、実験のやり方を自分で筋道立てられるようになりたいと思った。数学の問題を考えることと、実験のやり方を考えることは少し似ていると思った。」とあるように、教科の横断性を考える動機になったと思われる。

5．評　価

⑤「今日の講座は、干ばつと食糧問題についてということでしたが、中学校で習う基礎的な部分がたくさん使われていたり出てきました。こういった学習内容をしっかり教えていかなければならないと感じました。」という教員の感想からもあったように、21世紀の課題は国際、環境、食糧問題等を学習の入り口として、理科の学習に関連づけることができると言える。

5．評　価

25年度　参加実績（8月現在）

▼ 参加団体
- ○ 八戸市 中学校理科教育研究会
- ○ 八戸市 中学校視聴覚教育研究会
- ○ 弘前市 教科外研修会（視聴覚部会）

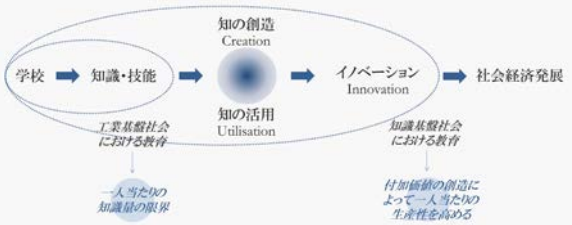
▼ 延べ参加人数（8月現在 全3回）

	理科研究会	視聴覚研究会・部会	計
男性教員	23	40	63
女性教員	8	2	10

合計 72名

6．ま と め

社会経済発展のための教育の役割



6．ま と め

① 「価値を生むためのプロセス」という概念を学校教育に持ち込む試みによって、生徒が将来関わるいかなる産業においても、利用可能なスキルを養うことを提案した。

② 開発教育で用いられるファシリテーション手法やカードを用いたアイデアの創生は、目に見える形で生徒のコミュニケーション活性化に寄与した。

③ 科目横断の幅広い文脈（Big Idea）を提示し、あらかじめナレッジ・ウェブを構築することは、多様な興味を持つ生徒を授業に引き付けるために有効であり、結果、「なぜ実験を行うのか」という動機付けにつながることを確認した。

④ 総合的な学習といった既存の科目横断の取り組みをきっかけとし、理科教育が、より社会的要素（産業、技術、環境）を取り入れながら変化していくことが望ましい。

謝辞 ： 本研究の実地研修事業に関わる支援を下記法人より受けている。

24年度
・ 独立行政法人 科学技術振興機構「科学技術コミュニケーション推進事業」

25年度
・ 公益財団法人 むつ小川原地域・産業振興財団「プロジェクト支援事業」
・ 日本教育大学協会「研究助成」

実施代表者 弘前大学 教育学部
教授 長南 幸安

21世紀の課題を用いた科学コミュニケーションの推進と学習展開の開発
～ 知識創造社会における教育の役割の視点から ～

日本科学教育学会北海道･東北支部研究会

研究論文，プレゼンテーション資料

21 世紀の課題を用いた価値創生を伴う自己決定型学習の導入

Self-Determined Learning with Value-Creation Enhanced by 21st Century Challenges

本間正範 A，島田透 B，長南幸安 B

HOMMA, Masanori A　SHIMADA, Toru B　CHOUNAN, Yukiyasu B

弘前大学大学院 教育学研究科 A，弘前大学 教育学部 B

Graduate School of Education, Hirosaki University A

Faculty of Education, Hirosaki University B

［要約］ 労働力人口の減少や産業構造の変化に伴い，労働者はより「付加価値」を生み出すための多様な資質・能力が求められるようになった。これは，研究開発・製造に関連する産業に限らず，常に価値の最大化を志向する他の産業においても適用される。筆者は，これまで日本の労働生産性を引き合いに，科学実験を生徒（特に青年期）の能力開発における「創造性を養う場」として捉え，価値の創生と自己の判断に基づく教育法を導き，H24 年度から青森県内で実地検証を行っている。

この検証のために，本研究では「21 世紀の課題」という社会性の高いテーマを核とした科目横断型の学習展開を導入した。またその中で，開発教育で用いられるファシリテーションとアイデアの可視化作業を取り入れ，生徒が単に与えられた実験をこなすというよりも，課題解決のための実験手順（シナリオ）の構築とそれを実行し改善するための場を設定した。検証結果としては，参加教員や生徒の事後アンケートおよび感想をもとに判断すると概ね良好であったといえるものの，現状の教育環境との兼ね合いから，いくつかの問題点も明らかになった。

［キーワード］ 21 世紀の課題，ESD，価値創生，産業と教育，自己決定，労働生産性

１．はじめに

日本は，すでに人口の 25 %が 65 歳以上の高齢者という超高齢社会を向かえている。少子化も相成り労働力人口は確実に減少しつつあり，日本全体では，2000 年比で約 2 %の減少，特に大都市圏への人口流出も重なる地方自治体において，同年比で 9 %近い労働力人口を失った事例もある[青森県, 2013]。

人間活動は，多かれ少なかれ常に価値を創生している。継続的に価値を生み出し社会に還元することは，人々の生活水準の維持・改善に欠かすことはできない。限られた労働力人口であっても，それを補うために，個々の労働生産性（以下，生産性）を高める試みは，近年その重要性を増し，これは持続可能な社会の開発・発展という理念につながっている。生産性は，一人当たりの GDP（付加価値生産）を労働時間数で除したものとして定義される[Greenhalgh, et al., 2010]。したがって，現在の標準的な労働時間数を一定とした場合，この生産性を向上させる手段としては，高い付加価値をいかに生み出すかにかかっている。

OECD（経済協力開発機構）は，各国の生産性を評価しそのデータを公開している[OECD, 2013]。それによれば，日本の生産性は，41.6 US ドル（以下，ドル）/時で，OECD 平均値の 45.5 ドル/時を下回っている。上位には，ノルウェー（83.0 ドル/時），ルクセンブルグ（78.2 ドル/時），アイルランド（67.8 ドル/時）といった国が並び，日本との差は大きいことが分かる。筆者は，同様に OECD が公開している各国の中等教育向け公共投資のデータを用い，生産性とこの投資の相関図

を作成した（図 1）[OECD, 2012] [Homma, et al., 2013]。日本と同程度の年間約 9,000 ドル/人の投資がなされている国を比較すると，ドイツ（55.8 ドル/時），フィンランド（48.1 ドル/時），カナダ（46.3 ドル/時）は，より効率良く，その投資によって出力される生産性を高めているように捉えることができる。

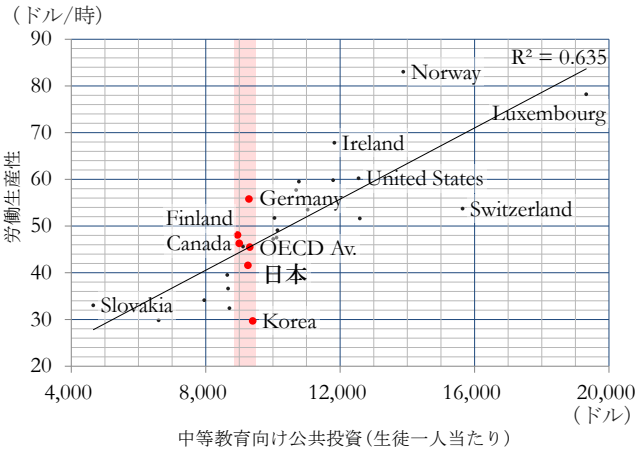


図 1　労働生産性対教育投資

現代社会に存在する課題は不確定であり，かつ複雑に異分野をまたがっている状況において，労働者はより創造的で課題解決を伴うスキルが求められる，という考えは多方面で提起されている[Griffin, et al., 2012 など]。将来の労働者の資質・能力を育成する教育に対し，そのような社会状況にいる個人がいかに「自己決定」をすることができ，「価値創生」に寄与することができるかは，産業界の関心事であると推察できる。世界経済フォーラム Global Competitiveness Report によれば，産業界による評価において，日本の教育とりわけ理数教育の質は 4.7／7（148 国中 34 位）という水準にある[World Economic Forum, 2012]。これは，日本の教育が PISA や TIMSS に裏付けられる地位を確立しながら，産業界のニーズに見合う人材の育成という，社会の共通の利益を高いレベルで達成できていない（もしくは改善の余地がある）ことを示唆している。

上記のような問題意識から，本研究においては科学技術の領域に限らず，より広義な意味で地域社会・産業の生産性向上に貢献することができる「科学的労働者」の育成を視野に入れた教育法を開発・導入することを目的とした。また，講習会等を通じ，以下提案される学習展開，手法，機材等の使用効果を検証することにした。

２．導　入

１）学習上のイノベーション

一般的に産業におけるイノベーションとは，ある組織や企業が，新しいアイデアの活用によって，製品開発，製造，販売活動等において，常に「付加価値」を生むことができるプロセスや状態を示す[Greenhalgh, et al., 2010]。また，そのようなイノベーションとは，組織や企業が，「自身にとっての新しい手法や製品・サービス」を達成することであって，市場，国，世界の中で新しいかどうかは問わないという考えもある[Mytelka, 2000]。つまり，他者にとって新しいというよりも，むしろまずは自分自身にとって新しいかどうかといった，利己的な要素が先行するという捉え方である。また，このイノベーションとは，研究開発・製造業においてのみに展開されるものではなく，価値をもたらすあらゆる分野の産業（農林水産，建設，小売，運輸，通信，サービス，卸，金融等）にも当てはまる。

筆者は，このような産業と教育を結びつけるために，学習上の（特に科学教育における）イノベーションとは何かを考えた結果，次のようにそれを定義する：「生徒にとってのイノベーションとは，彼らが，科学と他の社会的文脈との関連性を見い出し，社会が直面する課題に挑戦するための，新しく創造的な手法を自ら発案し実験に取り入れ，それを実行し改善する生産的プロセスである」

２）21 世紀の課題

上記定義における社会的文脈には，環境，エネルギー，食糧供給，気候変動，経済，社会情勢，法などが関与してくる。このような異なる領域をまたがった課題を「21 世紀の課題」と称し，学習への動機付けと領域間のつなぎ合わせ（クロスカリキュラム）を行う。個別の分離した事実や　スキルをつなぎ合わせ意味を持たせるための，　大

きな概念（Big Idea）[Wiggins, et al., 2007]として機能するこの 21 世紀の課題を目の当たりにし，生徒は，これがどのような原因から生じ，どのように社会の文脈のなかで影響を与えているのかを系統的に関連づけながら学習をしていく。すなわち，個々の課題に関する専門性を深めることを意図しているのではなく，教科書や書籍，新聞，インターネット等のメディアから得られた知識を活用するために，このような課題と結びつけ，あらゆる領域を横断的に学習できる環境を整え生徒のナレッジウェブを構築していく。

３）学習展開

本研究にて提案される学習展開は次の通りである。基本的に 5 つのステップから成り立つ。

I. 課題と文脈の提示

⇒ *21 世紀の課題を用いて，社会的・科学的文脈を含むステートメントを生徒に提供する。*

表 1　ステートメント例

内海などの湖周辺の大規模な灌がい（かんがい）によって，水量が減少することで，その水の塩分濃度は上昇しついには生物の住めない環境になる場合があります。また，状況によっては周辺の農地に塩害をもたらし食料生産にも影響を及ぼすことが指摘されています。このような水の塩分濃度は，イオン化傾向の異なる２つの電極を用い，その電極間に発生する電位差から推測することができます。グループ内で塩分濃度と電圧の関係を調査する実験を考え，それを実行しましょう。

II. 課題の認識と意識化

⇒ *教科書や書籍，新聞，インターネット等のメディアを利用し，課題に関連した知識・情報を収集，そしてナレッジウェブを構築する。*

III. 複雑性と影響の調査

⇒ *グループ内で，ディスカッションを通じ，課題から生じる現象，国際/地域社会へもたらされる影響，その結果等を分析し，文章でまとめる。*

IV. 実験テーマの選定と手順（シナリオ）の作成

⇒ *科学に関連する実験テーマを選定し（もしくは提供される実験テーマに取り組むために），ディスカッションを通じ，独創的な実験手順を構築する。（Plan）*

V. 実験の実施と内容の改善

⇒ *手順に沿って実験を行い，そこから得られるデータが妥当であることを確認しながら，最良の結果を得るために調整と改善を施す。（Do-Check-Adjust）*

学校教育の理科では，仮説・予測を実験に取り入れる手法が一般化してきたが，実験の手順自体を生徒が計画し（Plan），そしてそれを実行し（Do），確認し（Check），調整する（Adjust）といった P-D-C-A プロセス全体を意識的に取り入れることはなかった。このプロセスは，実社会，特に産業界においては，生産性を向上させる手段として広く用いられている。また，多くの場合，計画をする段階において，仮説・予測といった作業も伴う。

４）ファシリテーション

学習展開 II～IV において，イノベーションにつながる価値創生や自己決定を促すために，開発教育の分野で活用されているファシリテーションとアイデアの可視化作業を用いることにした。

図 2　ファシリテーションと可視化

ディスカッションやコミュニケーションのきっかけは，自身の見方・考え方を臆することなく表現し，共有することから始まるといえる。どのように表現し発信するにしても，多くの場合，いかに分かりやすく「可視化」するかが重要であり，それによって，生徒の参加形態や意識も異なってくる。II～III では，メディアから得られた情報を簡潔な文章でカードに書き取り，グループ内で分析に使用する。IV では，ディスカッションの結果得られた新しいアイデアをカードに書き出し，それを並び替えて実験手順とするか，もしくは，文章とともに実験器具の組み上がり図や予想グラフを直接シートに書き込んでいく。ここで活躍するファシリテータは，生徒が意見や経験，情報を積極的に出し合い議論を深め，新たな気づきや学びが生まれるような環境を整える。

５）情報通信技術（デジタルセンサ）

21 世紀の課題の 1 つとして，高度情報化を挙げることも可能である。現在では生徒自身が情報端末を自由に扱い，必要とする知識・情報・データに瞬時にアクセスすることができる。情報端末の利用によって，教育機関は生徒の知識や技能を高めることができ，そしてまた，創造性や批判的思考を養い，自身がどのように学ぶのかを自己認識することにつながるとされる[UNESCO, 2003]。

これに加え，科学実験における重要なプロセス（学習展開 V の D-C-A）は，得られたデータが妥当かどうかを判断し，もし妥当でないと判断するのであれば手順や条件を調整し，再度データ採取を行うことにある。このような，データ観察に基づく判断や自己決定を行う環境を提供するために，現象をリアルタイムでグラフ化することができる情報端末とデジタルセンサを活用した。

３．検　証

H24 年度から，本研究は，提案された学習展開の有効性と実現可能性を確認するために，外部組織からの支援を受け，青森県内にてアウトリーチ活動を行っている。1 年目は，中高生向けの講習会を行い，学習内のファシリテーション，アイデアの可視化，課題解決，実験構築，情報端末の利用といった新しい要素がどの程度受け入れられるかを検証の対象とした。また 2 年目の H25 年度には，1 年目の内容をもとに，科目横断型教材の紹介を教員向け講習会を通じて実施し，多数の意見を集約している。以下に各年度の活動概要を示す。

H24 年度講座

・活動名称：デジタルセンサを使って，21 世紀の課題に挑戦しよう
・事業支援：独立行政法人 科学技術振興機構「科学技術コミュニケーション活動」
・対象者：弘前市/近隣の中高生（延べ 91 名）
・実施場所：弘前大学 教育学部
・実施時間：午前 3 時間/午後 2.5 時間
・実施報告 URL：http://www.jst.go.jp/csc/science communication/pdf/2013/02/240027.pdf
・グループ構成：生徒 4 名前後×5 グループ
・ファシリテータ：1 グループに 1 名（大学生）
・概要：

表 2　H24 年度実施日程と概要

実施日	学習テーマ（21 世紀の課題）
12/9/23	地球の環境温度の変化と氷の融解の関係 *温室効果ガスの増加により地球気温が上昇することを明らかにするための実験を考え，それを実行する。*
12/11/3	気候変動や灌がいの水サイクルに及ぼす影響 *気圧/温度の関係，また塩分濃度/電極電圧の関係を明らかにするための実験を考え，それを実行する。*
12/12/16 13/1/13	化石燃料消費と光化学スモッグ/酸性雨の関係 *大気中や自動車の排気ガス中の窒素酸化物の濃度を測定するための実験を考え，それを実行する。*
13/2/2	再生可能エネルギーの特性とその利用 *太陽電池の出力電圧の特性（角度，照度，面積などの影響）を調べる実験を考え，それを実行する。*

12/11/3 開催分 進行例：(1 項目につき 60～90 分目安)
・21 世紀の課題（気候変動，灌がい，水サイクル）の提示
・ミッション 1（海外における干ばつ被害と日本への影響）
・ミッション 2（水の蒸発と雲の発生，降雨）
・ミッション 3（塩分濃度と電極間電位差の測定）

H25 年度講座（実施中）

・活動名称：21 世紀の課題を取り入れた中学校教員向け科学実験講座
・事業支援：公益財団法人 むつ小川原地域・産業振興財団 「プロジェクト支援」
・対象者：青森県内中学校教員（10 月現在 延べ 72 名）(担当科目：理科，技術，数学，社会，英語，音楽，美術，保健体育)
・実施場所：八戸市総合教育センター，弘前大学教育学部附属中学校等
・実施時間：2 時間程度
・グループ構成：1 グループ 2～3 名
・概要：

表 3　H25 年度実施日程と概要

実施日	学習テーマ（21 世紀の課題）
13/7/22 13/7/23	大規模農業による灌がいと水資源 【実験項目：塩分濃度と電極電圧の測定】
13/8/5 13/8/6	地球の気候変動と海面上昇 【実験項目：環境温度と物質の融点の測定】 森林面積の減少と化石燃料の消費 【実験項目：植物の呼吸と光合成速度の測定】
	（参加者の構成を考慮し，上記から 1 テーマ選定）

4．結果と考察

H24 年度，参加生徒を対象に次のような設問を含む事前アンケート実施した（括弧内は肯定的回答の割合)。「さまざまな新しいアイデアを取り入れたり，生み出したりすることができる（41 %)」，「自分の考えを他人に伝え，理解させることができる（30 %)」，「疑問に思った点は，聞く人にわかりやすいように質問することができる（38 %)」。このことから，当初，参加した生徒の少なくとも半数以上は，新しいアイデアを出し合い，互いに説明したり議論することを含むグループワークには不慣れであるか，もしくは不得意感を持っていると推測した。しかしながら，実際にはファシリテータを交えたグループ内での可視化という作業によって，自身のアイデアを表現することや，それを他人の内容と比較し説明することに，抵抗をもつ生徒は少なかったように見受けられた。このことは，「実験手順を予想して話し合ったりしたことが一番印象に残りました」という感想からも裏付けられる。

講習会後の事後アンケートにおいて，「自然や科学・技術に対する興味が更に高まった」もしくは「興味を少し持った」という回答は全体の 77 %であった。また，「しっかりとした科学的根拠を用いて実験の結果を得ることができて自分でもすごく納得がいったし自信にもなった」という感想からも，自ら実験を立ち上げ結果につなげる試みは効果的に作用したものと思われる。この他，「調べ方が楽になり，より多くのことを調べられるということは，その分いろんなことを視野に入れて，より自分の問題，身近な問題として考えていかなくてはならないと思いました」といったように，学習を進める上でメディア・情報技術の活用を建設的に捉える生徒もいた。実験手順の構築や科目横断性に関しては，「私も科学をもっと勉強し，物質の性質や働きをよく知って，実験のやり方を自分で筋道立てられるようになりたいと思った」「数学の問題を考えることと，実験のやり方を考えることは少し似ていると思った」という感想も受けた。

今年度の教員向け講習会は実施中であるため詳細は別報とするが，現在までの事後アンケートの結果を表 4 に示す。肯定的な回答をした教員の割合は，設問ごとにそれぞれ「内容構成・配分の適切さ（78～86 %)」，「機材の活用の適切さ（81～96 %)」，「講座内容の理解度（79 %)」，「科目横断の意識化（64～88 %)」という範囲におさまった。機材の活用について，「情報端末の新しい使い方が分かった」と好印象を持つ参加者が，理科よりもむしろ理科以外の担当教員に多かった。一方で，習得した内容の学校での展開の可能性があると回答をした教員は 29～42 %にとどまっている。その理由の多くが，学校での情報端末の利用に制限があり，実験室ですべてのグループに機材を準備できないという内容であった。

表 4　参加教員アンケート結果

設　問	理科担当 N=43	理科以外担当 技術，数学，社会等 N=28（未回収 1）
今回の参加は，充実したものであった	86 %	81 %
内容構成・配分は適切であった	86 %	78 %
機材（情報端末，センサ）の活用は適切であった	81 %	96 %
講座内容を良く理解できた	79 %	79 %
理科を中心とした科目横断を意識できた	88 %	64 %
習得した内容の学校での展開はあり得る	42 %	29 %

この他，参加教員の感想として「教科を横断して，

実際の生活環境へのリンクはすごく大切であり面白いと思いました」「実際に行うには，時数や生徒の理解度，ハード面の充実など，かなりハードルがあると思います」といった指摘を受けた。

以上を総合的に判断すると，提案された学習展開は，生徒の学びを促進し能力向上に寄与する可能性がある。また，その重要性の認識や関心の高さを確認することができた一方で，現状の教育への導入には，ヒト，モノの側面において困難が伴う。解決のための方策として，地域コラボレーション事業の一環で大学生を学校へ派遣したり学区内の市民ボランティア（学習支援員）を活用したりするなど，社会全体で学習環境を整えることが挙げられる。また，総合的な学習や課外活動など，より柔軟にカリキュラムを組むことができる時間の活用も考慮したい点である。情報端末の利用については，学校単位で判断することが困難であるものの，域内での連携事業や研究授業として取り組みを始め，徐々にその有効性を波及させることができればと考える。

５．まとめ

本研究報告では，産業界のニーズに対応するため，21 世紀の課題を主体とした科目横断，ナレッジウェブの構築，そして自由な発想に基づく価値創生と自己決定型の学習展開を提言した。多くは将来の労働生産性向上に貢献するための取組みとして，科学教育での活用方法を検討した。

学習展開は課題の認識から始まり，メディアを用いた知識の習得と，科目ごとに分断されやすいトピック間の有機的な連結を図る。その後，課題から生じる現象，社会への影響等の系統分析を行った上で，デジタルセンサを用いた実験を行うための手順（シナリオ）を構築する。実験の結果は即座にグラフ化され，現象を確認することができることから，与えられた時間の範囲内で可能な限り手順や条件を見直し測定を繰り返す。

検証のために実施した講習会の事後アンケートによれば，21 世紀の課題を用いた科目横断の試み，アイデアを可視化し話し合いによって実験手順を創り上げること，情報端末とセンサを用いてデータを採取することなど，学習展開と手法としては概ね受け入れられるレベルであったといえる。ただし，学校への導入を進めるためには，大学との継続的な連携，人的な交流，先進機材の共有といった取り組みとともに，授業案を含めた利便性の高いパッケージを提供することが，教員の負担軽減という観点からも望ましい。

附記

本研究もしくはそのアウトリーチ活動は，次の法人や団体から助成を受け実施している。

・独立行政法人 科学技術振興機構
・公益財団法人 むつ小川原地域・産業振興財団
・日本教育大学協会

引用・参考文献

Greenhalgh, C. Rogers, M., 2010. *Innovation, Intellectual Property and Economic Growth*: Princeton University Press.

Griffin, P., Care, E. McGaw, B., 2012. *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*: Springer.

Homma, M., Shimada, T. Chounan, Y., 2013. *The Role of Education in Societies Seeking Knowledge Creation - Development of Pedagogy for Secondary School Science Enhanced by 21st Century Challenges*: The 6th Int. Conference on Educational Research, Khon Kaen Univ.

Mytelka, L. K., 2000. *Local Systems of Innovation in a Globalized World Economy*: Industry and Innovation 7 (1).

OECD, 2012. *Education at a Glance 2012: OECD Indicators*: OECD Publishing.

OECD, 2013. *Factbook 2013 - Economic, Environmental and Social Statistics*: OECD Publishing.

UNESCO, 2003. *Four New Projects on ICT in Education in Asia and the Pacific*: UNESCO.

Wiggins, G. McTighe, J., 2007. *Understanding by Design, 2nd ed*: Association for Supervision and Curriculum Development.

World Bank, 2007. *Building Knowledge Economies - Advanced Strategies for Development*: The World Bank.

World Economic Forum, 2012. *The Global Competitiveness Report 2012-2013*: World Economic Forum.

青森県, 2013. *青森県社会経済白書 - 活力ある地域社会の形成に向けて. 平成 24 年度版*

前林清和, 2010. *開発教育実践学 開発途上国の理解のために*: 昭和堂.

総務省統計局, 2013. *労働力調査*

本間正範, 島田透, 長南幸安, 2013. *21 世紀の課題を用いた科学コミュニケーションの推進と学習展開の開発 - 知識創造社会における教育の役割の視点から*: 日本理科教育学会第 63 回全国大会要旨.

弘前大学修士論文中間発表

研究要旨

21 世紀の課題を用いた科学コミュニケーションの推進とその学習展開の開発
～ 知識創造社会における教育の役割の視点から ～

教科教育専攻　12GP212　本間正範

1. 背景

GDP に代表される国の経済力を総合的に示唆する指標から，日本の労働人口に潜在する生産性の低さを窺い知ることができる。この要因として推察することは，教育が「社会・経済・産業」との結び付きを考慮した実践に対応できていないこと，言い換えれば，教育が知識創造社会におけるニーズに即した環境を提供できていないことである。研究では特に科学教育の分野において，将来の科学技術立国を担う地域社会の住民（学生，生徒含）にとって，生産性を向上しイノベーション創出に導くための教育の在り方とは何かを検討する。また，地域社会に影響を及ぼす,「21 世紀の課題」を認識し，専科の有機的な融合のもと，学習者の意欲関心を引き出す効果的な科学教育を実施することは可能かどうかを検討する。

2. これまでの経過

研究の趣旨と企画は，「デジタルセンサを使って，21 世紀の課題に挑戦しよう」として，科学技術振興機構の H24 年度科学技術コミュニケーション推進事業に採択された。5 回に渡る公開講座では，単なる知識や技能の習得にとどまらず，社会，経済，産業，環境等さまざまな文脈の中で，その複雑性や相互依存性を理解し，地域に影響を及ぼす課題に対応することができる能力，いわゆる「キーコンピテンシー」を養うことを上位目標に据えた。同講座にて導入を試みた学習展開を以下に示す。

① 21 世紀の課題を用いた文脈を提示する
② メディアを利用し，課題の認識と意識化を図る
③ 課題の複雑性と相互依存性を理解し，地域社会や産業への影響を知る
④ 課題に関連した実験テーマを選定し，結果を導くためのシナリオを作る
⑤ シナリオに沿って実験を進め，得られた結果を文脈に同期する

学習者の知識創造を促すために，開発教育の分野で活用される PCM 法を用い,「多様な背景を持つ受益者間，異なる年齢間において，自身の見方・考え方を論理的に主張する」ための環境を設定した。事前評価の段階にて，学習者自身が能力を発揮できていない項目を特定した。それは「新しいアイデアを取り入れたり，生み出したりすること」「自分の考えを他人に伝え，理解させること」であり，したがって，上記環境設定は，参加した学習者のニーズを充足するものであったと言える。

3. 今後の予定

今年度は，本研究の足掛かりとなる学習展開の開発を実施し，その効果の検証に至るまでの成果を得ることができた。次年度は，この成果をもとに，学校カリキュラム等に適応・融合させるための取り組みを教育現場との連携を図りながら推進する予定である。

指導教員　長南幸安

弘前大学教育活動演習報告会

発表ポスター

21世紀の課題を用いた価値創生を伴う自己決定型学習の導入

Self-Determined Learning with Value-Creation Enhanced by 21st Century Challenges

弘前大学大学院　教育学研究科　本間 正範 / 長南 幸安

Masanori HOMMA / Yukiyasu CHOUNAN, Graduate School of Education, Hirosaki University, Japan

1. 目的と展望 Objective and Perspective

青森県内の中高生が21世紀の課題を意識しつつ，価値創生に必要なキー・コンピテンシーを修得することができる環境を提供する．そのために教育・社会・産業を結びつける効果的な科学コミュニケーション活動と学習展開を開発し検証する

> To create an environment where students are able to conduct knowledge and value-creation, and acquire key-competency associated with 21st century challenges

▶ 少子高齢化への対応 ・ 労働生産性の向上

> Increasing productivity of industry sector, in a response to aging society and decreasing population

▶ 地域社会の持続的な経済発展

> Leading to sustainable socioeconomic growth of the region as a whole

2. 社会・産業的背景 Social and Industrial Background

日本と同程度の教育投資($9,000/年/人)を行っている各国の労働生産性を比較．日本の生産性はOECD平均を下回るレベルであり改善の余地がある(図1) さらに日本の労働人口は2000年比2%の減少，青森は9%の減少で生産性向上が求められる(図2)

> Fig.1(red line) shows the productivity of countries spending the same amount of expenditure($9,000) on secondary education per student. Fig.2 indicates that Japan and Aomori have lost about 2% and 9% of its working population respectively, over the past decade.

4. 学習の展開 Proposed Learning Process and Trials

本研究では以下の学習展開を提案し，青森県内での講習会を通じその有効性・効果を確認するための実地検証を行った．

> A following learning process has been proposed and under evaluation through a series of workshops and trainings in order to figure out its effectiveness over student learning.

H24年度 中高生向け公開講座 / Workshops for secondary students, 2012
○ 活動名称：デジタルセンサを使って21世紀の課題に挑戦しよう
○ 事業支援：独立行政法人 科学技術振興機構 「科学技術コミュニケーション活動」
○ 対象者：弘前市/近隣市の中高生（延べ91名） / Totaling 91 students from either JSS or SSS

H25年度 中学校教員向け研修会 / In-service trainings for teachers, 2013
○ 活動名称：21世紀の課題を取り入れた中学校教員向け科学実験講座
○ 事業支援：公益財団法人 むつ小川原地域・産業振興財団 「プロジェクト支援」
○ 対象者：青森県内中学校教員（10月現在 延べ72名） / Totaling 72 JSS teachers as of Oct 2013

① 21世紀の課題をテーマとした社会的文脈を含むステートメントを生徒に与える

▼ Be provided with a statement that includes local, global and social context with 21st Century Challenges

② メディア素材を利用し，課題の認識と意識化を図る

▼ Obtain understanding and consciousness over the challenges through media and the internet

③ 課題の複雑性と相互作用性を理解し，地域社会や産業への影響を知る(図5)

▼ Investigate complexity and influence caused by the challenges to our society and industries (Fig.5)

④ 課題に関連した実験テーマを確認し，結果を導くためのシナリオを作る(図6)

▼ Create and develop a unique procedure for science experiments in order to obtain data that are product of natural phenomena. (Fig.6)

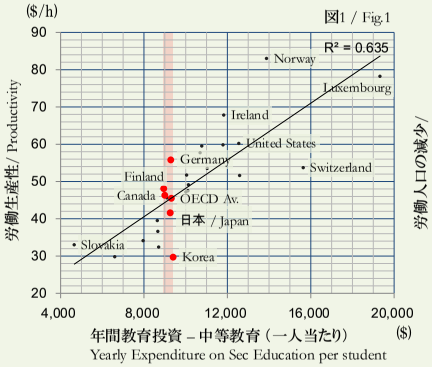


図1 / Fig.1

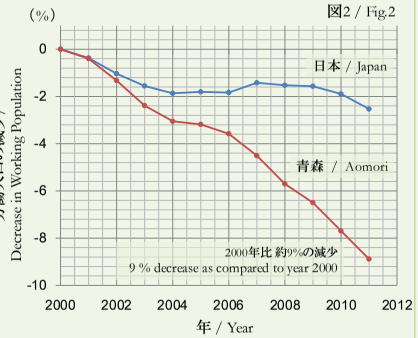


図2 / Fig.2

産業界が求める人材とは，社会に存在する複雑な課題を理解し自己決定によってその課題に対応でき，さらに生産プロセスにおいて，常に価値創生を志向するものであるといえる．

> Industries need workforces who are well prepared to understand and able to tackle complex challenges in our society, implement self-determination and always pursue value-creation.

3．クロスカリキュラムの導入　Introduction of Cross-discipline

21世紀の課題　21st Century Challenges

- ✓ 気候変動　Climate change
- ✓ 食糧供給　Food provision
- ✓ 水資源　Water provision
- ✓ 干ばつ / 灌漑　Draught / Irrigation
- ✓ 光化学スモッグ　Photochemical smog
- ✓ 再生可能エネルギー　Renewable energy
- ✓ 生物資源　Biological conservation
- ✓ 人口移動　Population migration
- ✓ 情報通信技術　Information technology

ナレッジ・ウェブの構築　Knowledge web

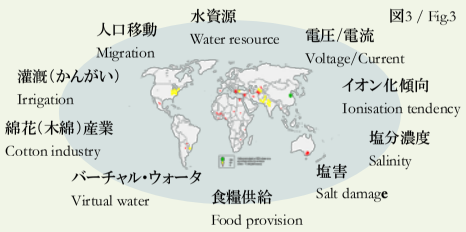


図3 / Fig.3

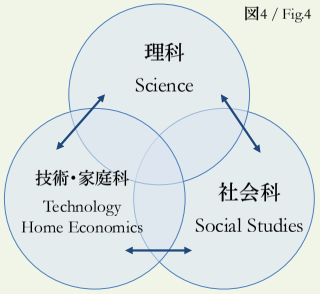


図4 / Fig.4

⑤ シナリオに沿って実験を進め，得られた結果を解釈し活用する（図7）

Implement the procedure to confirm whether it is complete, and obtain results (Fig.7)

図5 / Fig.5

ファシリテーションとアイデアの可視化
Facilitation and visualisation of ideas within group

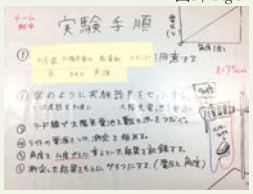


図6 / Fig.6

独創的な実験手順（シナリオ）の作成
Creation of a unique procedure for experiment

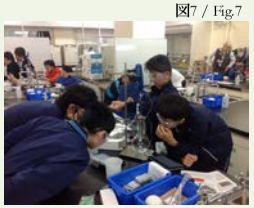


図7 / Fig.7

実験の実施と結果の解釈
Implement the procedure and interpret the result obtained

5．成果　Summary of Achievements

- ✓ 科学実験を主体に自己決定と価値創生のプロセスを取り入れ，生徒が単なる知識の受容者ではなく，能動的な生産者としての役割を果たす環境を設定した．

> We have developed and proposed the value-creation process in the school education, where students were encouraged to act like the active generator of ideas rather than the passive receptor of knowledge.

- ✓ そのプロセスにおいて，生徒の参加度を高めるため，ファシリテーションとアイデアの可視化を学習活動に取り入れた．

> In the process, we introduced the facilitation and visualisation technique that were intended to enhance student participation.

- ✓ ナレッジウェブの構築によって，科学・技術と他の社会的文脈を意識しながら実験に取り組むことが可能になった．

> By creating the knowledge web before starting the experimentation, it was obvious from the response that students could understand the role of science and technology in our society.

参考文献　References

- Greenhalgh Christine, Rogers Mark. (2010). Innovation, Intellectual Property and Economic Growth. Princeton University Press.
- Homma Masanori, Shimada Toru, Chounan Yukiyasu. (2013). The Role of Education in Societies Seeking Knowledge Creation. The 6th Int. Conference on Educational Research. Khon Kaen University.
- OECD. (2012). Education at a Glance 2012: OECD Indicators. OECD Publishing.
- OECD. (2013). Factbook 2013 - Economic, Environmental and Social Statistics. OECD Publishing.
- 青森県. (2013).青森県社会経済白書 - 活力ある地域社会の形成に向けて. 平成24年度版.
- 前林清和. (2010).開発教育実践学，開発途上国の理解のために. 昭和堂.
- 本間正範, 島田透, 長南幸安. (2013). 21世紀の課題を用いた科学コミュニケーションの推進と学習展開の開発 - 知識創造社会における教育の役割の視点から. 日本理科教育学会第63回全国大会要旨.

参考文献

Aubert, J-E., 2005. *Promoting Innovation in Developing Countries - A Conceptual Framework*: World Bank Policy Research Working Paper 3554, World Bank.

Autor, D., Levy, F. Murnane, R., 2003. *The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration*: The Quarterly Journal of Economics, 118 (4), 1279-1333.

Barton, R., 1997. *Does data logging change the nature of children's thinking in experimental work in science?* In B.Somekh and N. Davis (eds): Using Information Technology Effectively in Teaching and Learning, 63-72.

Deci, E. L., Ryan, R. M., 1985. *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior,* New York: Plenum Publishing Co.

FASiD, 2007. *Project Cycle Management for Development Assistance,* Tokyo: Foundation for Advanced Studies on International Development.

Fisher, M. A., 2012. *Chemistry and the Challenge of Sustainability*: Journal of Chemical Education, 89 (2), 179-180.

Gipps, J., 2002. *Data Logging and Inquiry Learning in Science*. In Proc. WCCE2001 Australian Topics: Selected Papers from the Seventh World Conference on Computers in Education, ACS, 31-34.

Greenhalgh, C. Rogers, M., 2010. *Innovation, Intellectual Property and Economic Growth,* New Jersey: Princeton University Press.

Griffin, P., Care, E. McGaw, B., 2012. *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*: Springer.

Harlen, W., 2010. *Principles and Big Ideas of Science Education,* Gosport, Hants.: Ashford Colour Press Ltd.

Homma, M., 2005. *A Report on the Voluntary Service at Educational Institutions in Ghana*, Japan International Cooperation Agency.

Homma, M., Shimada, T., Chounan, Y., 2013. *The Role of Education in Societies Seeking Knowledge Creation - Development of Pedagogy for Secondary School Science Enhanced by 21st Century Challenges*, In Proc., 958-969: The 6th International Conference on Educational Research, Khon Kaen University, Thailand.

IEA, 2012. *TIMSS 2011 International Results in Science*: International Association for the Evaluation of Educational.

IPCC, 2007. *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change*: The Intergovernmental Panel on Climate Change .

Lockee, B., 2002. *Extending the Impact of IT: The Instructional Technology Program at Virginia Tech*: International Journal of Educational Technology, 89 (2).

MacDonald, R., 2008. *Supporting Science Inquiry and ICT Integration through a Secondary Science Teacher Community of Practice,* Annual Meeting, New York City: American Educational Research Association.

Ministry of Education, 2008. *Science Curriculum for Junior High School*: Ministry of Education, Japan.

Mytelka, L. K., 2000. *Local Systems of Innovation in a Globalized World Economy: Industry and Innovation 7 (1).*

National Center for Education Statistics, 2001. *The Nation's Report Card: Science Highlights 2000*: Department of Education, United States.

Newton, L., 1997. *Graph talk: some observations and reflections on students' data-logging*: School Science Review, 79(287), 49-54.

Newton, L., 2000. *Data-logging in practical science: research and reality*: International Journal of Science Education, 22(12), 1247-1259.

Nuffield Foundation, *STEM projects - 11-14 cross-curricular projects in Science, Technology, Engineering and Maths (STEM)*, http://www.nuffieldfoundation.org/stem (14.01.8): Nuffield Foundation, UK.

OECD, 2005. *Definition and Selection of Key Competencies - Executive Summary*: OECD Publishing.

OECD, 2007. *PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World*: OECD Publishing.

OECD, 2012. *Education at a Glance 2012: OECD Indicators*: OECD Publishing.

OECD, 2013a. *Factbook 2013 - Economic, Environmental and Social Statistics*: OECD Publishing.

OECD, 2013b. *OECD Skills Outlook 2013: First Results from the Survey of Adult Skills*: OECD Publishing.

OECD, 2013c. *Skills Outlook 2013: First Results from the Survey of Adult Skills*: OECD Publishing.

Osborne, J., Hennessy, S., 2003. *Literature review in science education and the role of ICT: Promise, problems and future directions*, A Report for NESTA Future, Harbourside, Bristol: Futurelab.

Rogers, L., Wild, P., 1994. *The use of IT in practical science - a practical study in three schools*: School Science Review, 75(273), 21-28.

Sapianchai, P. James, P. T., 2005. *ICT in Thai Education Ideological and Structural Determinants that Support its Development, Introduction and Use*: Bangkok University Knowledge Center.

Schultz, T. W., 1981. *Investing in People - The Economics of Population Quality*: University of California Press.

Singer, P., 2002. *One World, the ethics of globalization*: Yale University Press.

Srisawasdi, N., Kerdcharoen, T. Suits, J. P., 2008. *Turning Scientific Laboratory Research into Innovative Instructional Material for Science Education: Case Studies from Practical Experience*: International Journal of Learning, 15(5), 201-209.

Statistic Bureau, 2013. *Labour Force Survey (Basic Tabulation)*: Ministry of Internal Affairs, Government of Japan. http://www.stat.go.jp/english/data/roudou (Last accessed 14.01.8)

Tan, K., Hedberg, J., Koh., T., Seah, W., 2006. *Datalogging in Singapore schools: supporting effective implementations*: Research in Science & Technological Education, 24(1), 111–127.

UNDP, 2011. *Human Development Report 2011,* : United Nations Development Programme.

UNESCO, 2003. *Four New Projects on ICT in Education in Asia and the Pacific,* : UNESCO.

United Nations, 2012. *Education First - An Initiative of the United Nations Secretary-General*: United Nations

Webber, C., 2003. *New Technologies and Educative Leadership*: Journal of Educational Administration, 41(2), 119-123.

Wiggins, G. McTighe, J., 2007. *Understanding by Design, 2nd ed.*, Association for Supervision and Curriculum Development: Pearson.

World Bank, 2007. *Building Knowledge Economies - Advanced Strategies for Development*: The World Bank.

World Bank, 2008. *Global Purchasing Power Parities and Real Expenditures - 2005 International Comparison Program*: The World Bank.

World Bank, 2012. *Knowledge Assessment Methodology 2012*: The World Bank. www.worldbank.org/kam (Last accessed 14.01.8)

World Economic Forum, 2012. *The Global Competitiveness Report 2012-2013*: World Economic Forum.

青森県, 2010 . *青森県の工業*: 青森県.

青森県, 2013. *青森県社会経済白書 - 活力ある地域社会の形成に向けて（平成 24 年度版）*: 青森県. http://www.pref.aomori.lg.jp/kensei/tokei/shakai-keizaihakusho.html (Last accessed 14.01.8)

縣秀彦, 2012. *JASC 活動紹介*, サイエンスコミュニケーション: 日本サイエンスコミュニケーション協会誌, 1(1), 26-27.

荒井一博, 2002. *教育の経済学・入門 - 公共心の教育はなぜ必要か*: 勁草書房.

井上直子, 2012. *科学コミュニケーションの理想と現実のギャップを埋めるには*, サイエンスコミュニケーション: 日本サイエンスコミュニケーション協会誌, 1(1), 64-65.

小倉康, 2012. *学校と学校外のサイエンスコミュニケーションの現状と課題*, サイエンスコミュニケーション: 日本サイエンスコミュニケーション協会誌, 1(1), 14-15.

開隆堂出版, 2012. *中学校技術家庭科 教科書*: 開隆堂出版

外務省, 2005. *地球環境 持続可能な開発*: 外務省. http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/sogo/kaihatsu.html (Last accessed 14.01.8)

科学技術振興機構, 2012. *科学技術コミュニケーション推進事業「活動実施支援」*: 独立行政法人科学技術振興機構. , http://www.jst.go.jp/csc/sciencecommunication (Last accessed 14.01.8)

学校図書, 2012. *中学校理科 教科書*: 学校図書

環境省, 2012. *STOP THE 温暖化*: 環境省.

気象庁, 2007. *気候変動 2007 統合報告書 政策決定者向け要約（IPCC 第 4 次評価報告書）*: 気象庁.

北原和夫, 2008. *21 世紀の科学技術リテラシー像～豊かに生きるための智～プロジェクト総合報告書*: 科学コミュニケーションセンター. http://www.jst.go.jp/csc/material/s4a.html (Last accessed 14.01.8)

クラーク, コーリン, 1945. *経済的進歩の諸条件*, 金融経済研究会訳: 日本評論社.

経済産業省, 2012. *工業統計調査 調査の結果*: 経済産業省. http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-2.html (Last accessed 14.01.8)

広辞苑, 2008. *広辞苑（第六版）*: 岩波書店.

国立教育政策研究所, 2006. *OECD 生徒の学習到達度調査 - 2006 年調査国際結果の要約*: 国立教育政策研究所

国立教育政策研究所, 2011. *国際数学・理科教育動向調査の 2011 年調査（TIMSS 2011）国際調査結果報告（概要）*: 国立教育政策研究所

島津理化, *教育支援 パソコン計測実験シリーズ - PASPORT センサ取扱説明書*: 株式会社島津理化. http://www.shimadzu-rika.co.jp/kyoiku/it/pasport/100_886.html (Last accessed 14.01.8)

総務省, 2000. *過疎地域自立促進特別措置法*: http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12HO015.html (Last accessed 14.01.8)

総務省地域力創造グループ, 2011. *過疎地域等における集落の状況に関する現況把握調査報告書*: 総務省.

総務省統計局, 2007. *日本標準産業分類*: 政策統括官（統計基準担当）. http://www.stat.go.jp/index/seido/sangyo/19index.htm (Last accessed 14.01.8)

総務省統計局, 2012a. *国勢調査*: 総務省. http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/index.htm (Last accessed 14.01.8)

総務省統計局, 2012b. *平成 24 年度経済センサス - 活動調査*: 総務省. http://www.stat.go.jp/data/e-census/2012 (Last accessed 14.01.8)

総務省統計局, 2013a. *日本の統計 2013*: 総務省.

総務省統計局, 2013b. *労働力調査 都道府県別結果*: 総務省. http://www.stat.go.jp/data/roudou/pref/index.htm (Last accessed 14.01.8)

高橋みどり, 2012. *高等学校におけるリスクコミュニケーションのための議論の手法に関する試み*, サイエンスコミュニケーション: 日本サイエンスコミュニケーション協会誌, 1(1), 62-63.

中小企業庁, 2011. *中小企業白書*: 中小企業庁. http://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/hakusyo/h23/h23/index.html (Last accessed 14.01.8)

筒井和幸. 本管正嗣., 2010. *高校物理における PC 計測システムの活用方法について*: 大阪教育大学附属高等学校池田校舎 研究紀要, 43 巻, 35-40.

帝国データバンク, 2010. *青森県の産業構造分析調査*: 帝国データバンク

東京書籍, 2012. *中学校社会科 教科書*: 東京書籍

内閣府, 2012. *平成 24 年版 高齢社会白書（全体版）*: 政策統括官（共生社会政策担当）. http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2012/zenbun (Last accessed 14.01.8)

日本教育大学協会, 2012. *研究助成*: 日本教育大学協会. http://www.jaue.jp/index.html (Last accessed 14.01.8)

日本のエネルギー, 2013. *フォーラム これからの原子力*, パネリスト説明より引用: 2013 年 10 月 5 日於青森公立大学.

弘前大学教育学部, 2013. *青森県における小・中・高等学校を対象とした教育力向上プロジェクト報告書: ラボ・バスを用いた教育実践*: 弘前大学. http://siva.cc.hirosaki-u.ac.jp/web/labbus (Last accessed 14.01.8)

ベッカー, ゲーリー, 1976. *人的資本 - 教育を中心とした理論的・経験的分析*, 佐野陽子訳: 東洋経済新報社.

本間正範, 斉藤督, 梅田篤史, 2007. *創造力と解析力を身に付ける実験提案: パソコン計測機器の効率的利用*: 日本理科教育学会第 57 回全国大会論文集, 386.

本間正範, 2011. *マイクロ波教育ツールの開発　～ものづくり人材は科学教育から～*, 技術トレンド寄稿, クリエイティブ京都 M&T 2011 年 3 月号: 京都府中小企業技術センター

本間正範, 島田透, 長南幸安, 2013a. *21 世紀の課題を用いた価値創生を伴う自己決定型学習の導入*: 日本科学教育学会第 1 回北海道・東北支部研究会研究論文集, 3-8.

本間正範, 島田透, 長南幸安, 2013b. *21 世紀の課題を用いた科学コミュニケーションの推進と学習展開の開発 - 知識創造社会における教育の役割の視点から*: 日本理科教育学会第 63 回全国大会論文集, 90.

前林清和, 2010. *開発教育実践学 - 開発途上国の理解のために*: 昭和堂.

松本浩幸, 2013. *科学教育における自己決定基礎的考察*: 日本科学教育学会第 1 回北海道・東北支部研究会研究論文集, 1-2.

むつ小川原地域・産業振興財団, 2012. *プロジェクト支援事業*: 公益財団法人むつ小川原地域・産業振興財団. http://www.jomon.ne.jp/~mozaidan (Last accessed 14.01.8)

文部科学省, 2008a. *中学校学習指導要領総則*

文部科学省, 2008b. *中学校学習指導要領（技術・家庭）*

文部科学省, 2008c. *中学校学習指導要領（社会）*

文部科学省, 2008d. *中学校学習指導要領（総合的な学習）*

文部科学省, 2008e. *中学校学習指導要領（理科）*

文部科学省, 2012. *産業界のニーズに対応した教育改善・充実体制整備事業*: 高等教育局専門教育課. http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/kaikaku/sangyou (Last accessed 14.01.8)

文部科学省, 2013a. *平成 24 年度学校基本調査*: 生涯学習政策局調査企画課. http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa01/kihon/kekka/k_detail/1329235.htm (Last accessed 14.01.8)

文部科学省, 2013b. *平成 26 年度スーパーグローバルハイスクールの概要*: 初等中等教育局国際教育課. http://www.mext.go.jp/a_menu/kokusai/sgh/1342988.htm (Last accessed 14.01.8)

山崎敏昭, 井上賢, 谷口和成, 内村浩, 2011. *高校物理実験の実態 II: 2009 年大学新入生調査の分析*: 物理教育, 59(2), 101-107.

世取山洋介, 2012. *公教育の無償性を実現する - 教育財政法の再構築*: 大月書店.

筆者略歴

新潟県出身。2001 年国立長岡工業高等専門学校卒業後，オックスフォード・ブルックス大学へ編入学，2 年間機械・自動車工学を学修しつつ，イギリス，ボスニア・ヘルチェゴビナ，ギリシャでユース教育，環境保護等のボランティア活動に参加。学士号取得後，2003 年から国際協力機構青年海外協力隊としてガーナ・セントラル州チュフプラソ高等学校で理数科教員を 2 年間務めるとともに，地区教育委員会の教育調査や現職教員研修の立ち上げに関わる。2006 年株式会社島津理化に入社し，教育理化学機器の企画，設計，製造ならびに米国パスコサイエンティフィック製品の技術担当として国内向け教材の開発やプロモーションを行う。2012 年弘前大学大学院に入学，産業と科学教育分野の研究とアウトリーチ活動を青森県の社会経済の文脈からすすめ，本修士論文の執筆に至る。2014 年から青森県にて地方行政に携る。

謝 辞

弘前での学業と研究を進めるにあたり，多くの方々のご支援とご協力を頂きました。心より感謝申し上げます。

弘前大学 教育学部
理科教育講座　教授 長南 幸安 氏
講師 島田 透 氏
技術教育講座　准教授 櫻田 安志 氏
数学教育講座　教授 伊藤 成治 氏
総務課　係長 森田 直文 氏，各位

理科教育/技術教育ゼミ
ファシリテータ，各位

弘前大学 国際教育センター
E.ラウンジ　Prof. Shari J. Berman
前センター長　教授 大西 純 氏

株式会社 新日本教材社
代表取締役 福眞 睦城 氏

株式会社 島津理化
足立 直哉 氏 / 川見 修一 氏

PASCO Scientific
Mrs. Laurie Chiu-Mar

青森県内中学校/高等学校
実験講座/研修会 参加教員・生徒，各位

独立行政法人 科学技術振興機構
公益財団法人 むつ小川原地域・産業振興財団
日本教育大学協会

家族

添付資料(データ)

フォルダ	主なコンテンツ
1_修士論文原稿データ	・ 修士論文最終版
2_学内発表資料	・ 修士論文最終発表，中間発表資料 ・ 教育活動演習実施計画，報告書
3_学外発表資料	・ ICER 2013 発表資料，論文集 ・ ICIE 2012 論文集 ・ 日本科学教育学会 北海道・東北支部大会 発表資料 ・ 日本理科教育学会 全国大会 発表資料 ・ 日本教育大学協会 研究報告
4_JST 科学技術コミュニケーション実験講座	・ 募集要項，申請関係書類，採択後様式 ・ 活動計画書，活動報告書 ・ 中高生参加者アンケート，感想一覧 ・ 実験講座配布資料一式（実験ファイル含む）
5_むつ財団_教大協_21 世紀の課題研修会	・ プロジェクト支援事業 申請資料，採択後要綱，報告書 ・ 研究助成 助成金経理管理，研究計画調書 ・ 教員参加者アンケート，感想一覧 ・ 研修会配布資料一式（実験ファイル含む）
6_写真等記録媒体	・ 2012 年度 実験講座記録媒体 ・ 2013 年度 研修会記録媒体
7_引用文献	・ 各種
8_SPARKvue データサンプリング	・ Windows/Mac 用ソフトウェア，ユーザーマニュアル

添付された DVD の配布は，弘前大学教育学部内に限る。

国立大学法人弘前大学 教育学研究科 平成 25 年度修士論文